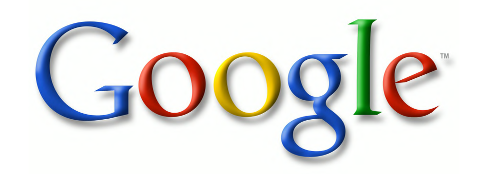






A Monsieur Alfred [illegible], ingénieur en chef,
hommage affectueux,

N. Stroobants

COURS

DE

TOPOGRAPHIE

PAR

N. STROOBANTS

Capitaine-Commandant d'Infanterie

Adjoint d'État-major, Professeur à l'École militaire

PREMIÈRE PARTIE

Construction et lecture des Cartes topographiques

3me ÉDITION



NAMUR

LIBRAIRIE CLASSIQUE DE AD. WESMAEL-CHARLIER, ÉDITEUR

RUE DE FER, 53

1895

COURS

DE

TOPOGRAPHIE

PAR

N. STROOBANTS

Capitaine - Commandant d'Infanterie
Adjoint d'État-major; Professeur à l'École militaire

PREMIÈRE PARTIE

Construction et lecture des Cartes topographiques

3[me] ÉDITION



NAMUR

LIBRAIRIE CLASSIQUE DE AD. WESMAEL-CHARLIER, ÉDITEUR

RUE DE FER, 53

1895



Imprimerie de Ad. Wesmael-Charlier, rue de Fer, 53, Namur.

École militaire.

Les élèves se procurent avant l'ouverture du cours :

1° Un « Tableau d'assemblage des feuilles de la carte de Belgique. »

Ce tableau donne les signes conventionnels adoptés pour la carte au 40.000e. Les élèves tracent à l'encre rouge le méridien 0 et la tangente au parallèle 56 grades, axes de la carte.

2° La feuille de Bruxelles au 40.000e.

3° La planchette d'Uccle au 20.000e (topogravure en couleurs).

4° La carte réglementaire au 160.000e.

Ces trois cartes sont collées sur coton.

5° Un « Programme du levé à la boussole-éclimètre-stadia. »

6° Un « Carnet de nivellement à la boussole-éclimètre. »

7° Une « Table de réduction pour les opérations à la boussole nivelante. »

8° Un « Cahier pour le calcul des différences de niveau. »

9° Un registre pour « Le levé de fortification et nivellements. »

Nous conseillons à chaque élève de se procurer à l'Institut cartographique, et de faire coller sur coton, la feuille au 40.000e et la planchette au 20.000e sur lesquelles se trouve la localité qu'habite sa famille. L'étude de ces feuilles sera pour lui aussi intéressante qu'utile.

Au lecteur étranger à l'École militaire.

Nous supposons, dans ces notes, que la personne qui nous lit possède la feuille de Bruxelles et la planchette d'Uccle, mais une feuille au 40.000e et une planchette au 20.000e quelconques conviennent pour notre étude.

Nous donnons, dans la seconde partie, tous les renseignements désirables en ce qui concerne les programmes, les registres et les tables en usage à l'École militaire.

Un « Tableau d'assemblage des feuilles de la carte de Belgique » est annexé à la première partie. Ce tableau donne la légende officielle des signes conventionnels de la carte au 40.000e et porte, sur ses marges latérales, une liste alphabétique des 2603 communes belges avec indication des feuilles au 40.000e et au 20.000e sur lesquelles on trouve la principale agglomération de la commune.



INTRODUCTION.

La Topographie est une science des plus anciennes : ses origines sont celles de la géométrie.

« Hérodote [1], le premier qui parmi les anciens ait écrit l'histoire en prose, place en Égypte le berceau de la Géométrie. Voici ce qu'il rapporte à ce sujet, d'après ce qu'il avait appris lui-même dans ses voyages à Thèbes et à Memphis :

» On m'assura que Sésostris avait partagé l'Égypte entre tous » ses sujets, et qu'il avait donné à chacun une égale portion en » carré, à la charge d'en payer par an un tribut proportionné : » Si la portion de quelqu'un était diminuée par le Nil, il allait » trouver le roi, et lui exposait ce qui était arrivé dans sa terre; » en même temps, le roi envoyait sur les lieux et faisait mesurer » l'héritage, afin de savoir de combien il était diminué, et de ne » faire payer le tribut que selon ce qui était resté de terre. » Je crois, ajoute Hérodote, que ce fut de là que la géométrie » prit naissance, et qu'elle passa chez les Grecs. »

» D'après ce récit, c'est une question d'*arpentage* qui aurait donné naissance à la Géométrie, et l'étymologie de ce dernier mot (mesure de la terre) semble justifier cette opinion. Quant à la date de l'origine de cette science, elle ne remonterait qu'à mille ans environ avant l'ère chrétienne. Cette ancienneté ne nous paraît pas suffisante pour expliquer les progrès qu'avait déjà fait l'astronomie théorique du temps de Sésostris.

» Les premières applications de la Géométrie ont donc eu pour but d'évaluer la surface des terrains et de fixer les limites des propriétés particulières. Les opérations mécaniques et les

[1] Hérodote naquit en 484 et mourut vers 406 av. J.-C.

méthodes de calcul inventées pour obtenir ce résultat ont constitué l'art de l'arpentage.

» L'Égypte paraît en avoir été le berceau.

» Ce n'était pas tout de fixer d'une manière équitable la *division* des champs entre les différentes familles, il fallait, une fois la répartition opérée, la transmettre d'une génération à l'autre. On n'a donc pas tardé à sentir le besoin de *représenter* graphiquement les formes, les dimensions et les limites des terrains.

» Enfin, pour conduire les eaux à travers les champs, pour fertiliser les terres par des canaux d'irrigation, il a fallu apprécier les *différences de niveau* que présentait le sol. Cette dernière considération était surtout importante pour l'Égypte, dont la fécondité était due aux inondations du Nil.

» Une science complète a donc été créée pour satisfaire à toutes ces exigences : connue aujourd'hui sous le nom de *Topographie,* elle a pour objet de représenter et de décrire toutes les parties qui composent la surface d'un terrain, sous le triple rapport de leur *position,* de leur *étendue* et de leur *relief.*

» La satisfaction des besoins *matériels* ne suffit pas à l'homme : la nature a placé en lui une inquiète curiosité, une soif insatiable de connaissances; à chaque pas que fait son intelligence, il se trouve en présence d'un horizon nouveau; tout progrès pour lui n'est qu'un acheminement vers des progrès ultérieurs.

» Poussé par ce besoin *intellectuel,* l'homme a voulu explorer et connaître toute la surface de la terre, en assigner les dimensions, en déterminer la forme, représenter les contours et la position des continents, des îles, des mers. La Topographie, ainsi étendue à de grandes portions du globe, et même au globe entier, a donné naissance à la *Géodésie* et à la *construction des cartes géographiques (Éléments de Géométrie et de Topographie,* J. Liagre). »

Les travaux topographiques les plus remarquables qui ont été exécutés depuis un siècle, sont, pour la plupart, l'œuvre des militaires : ce sont les officiers qui ont construit les belles cartes dont sont dotés presque tous les pays de l'Europe, et l'Institut

cartographique militaire belge brille d'un vif éclat à côté des établissements similaires de nos voisins.

Rien d'étonnant du reste à ce que la Topographie soit devenue une science essentiellement militaire : les sciences *géographiques* et l'art de la guerre ont toujours été étroitement unis; mais, depuis les guerres de la Révolution et de l'Empire, les cartes *topographiques* ont pris une importance qu'elles n'avaient pas eue jusqu'alors.

Avant la Révolution française, les armées marchaient à travers champs, en plusieurs colonnes parallèles et peu séparées les unes des autres; la masse campait sur un espace restreint et tirait ses subsistances de magasins établis à grands frais sur la ligne stratégique.

» Avec les guerres de la Révolution, s'ouvre une ère nouvelle pour l'art de la guerre. Les généraux qui commandaient les armées républicaines, obligés de faire subsister celles-ci au moyen des vivres que pouvait fournir le pays qu'elles traversaient, furent naturellement amenés à conduire leurs troupes dans les villes et les villages où elles pouvaient trouver des subsistances, et, par conséquent, ils leur firent suivre les routes qui relient entre elles les localités.

» En utilisant les voies de communication tracées, l'armée put se mouvoir plus rapidement : elle accrut ainsi considérablement la somme des efforts dont elle était capable, et elle surprit ses ennemis dont elle déjoua les calculs basés sur une activité moindre.

» Mais, pour suivre les routes, on dut restreindre le front des colonnes : l'infanterie se forma sur un front de trois à six files; la cavalerie sur un front de deux à quatre files; les canons et les voitures durent marcher à la file. Pour progresser, l'armée s'étendait donc en profondeur et présentait l'aspect d'un mince ruban plié suivant le caprice des routes. Le déploiement demanda plus de temps et il fallut redoubler de précautions pour en assurer l'exécution. L'importance du rôle de l'avant-garde s'accrut : cet échelon de l'ordre de marche fut renforcé.

» Cette méthode pouvait suffire pour les armées peu nombreuses des premiers temps de la République. Mais la conscrip-

tion, qui venait d'être introduite, augmenta considérablement les effectifs de l'armée. Celle-ci, disposée en une colonne, eût présenté une telle profondeur qu'il eût fallu plusieurs jours pour la déployer [1]. L'ennemi qui aurait eu ses forces concentrées, eût pu la battre en deux ou trois journées, en accablant les fractions éparses qui la composaient, au fur et à mesure qu'elles se seraient présentées sur le champ de bataille.

» On remédia bien vite au danger que créait la dispersion de l'armée en profondeur, en la subdivisant en plusieurs colonnes, fortes d'une division ou d'un corps d'armée et parfois plus, qui suivirent des routes différentes, mais ayant la même direction générale. On s'étendit ainsi en largeur, ce qui permettait d'utiliser plus complètement les ressources en vivres du pays traversé. Mais, de cette manière, le problème qui se posait n'était qu'à moitié résolu; car le tracé des routes est des plus capricieux : tantôt les voies de communication s'écartent les unes des autres, tantôt elles se rejoignent pour s'écarter ensuite de nouveau. Il en résulte que les colonnes qui les suivent se trouvent séparées le plus souvent par des distances très supérieures à leur front de déploiement. En d'autres termes, en remédiant à l'inconvénient de la dispersion en profondeur, on en rencontrait un autre, celui de la dispersion en largeur.

» Pour combattre, les colonnes durent se concentrer sur l'une d'elles, soit en suivant des routes transversales, soit en marchant à travers champs.

» La marche d'une armée présentait, dès lors, une succession de concentrations et d'épanouissements des colonnes, se succédant à des intervalles de temps indéterminés. Les premières s'exécutaient pour livrer bataille; les seconds, pour se remettre en mouvement.

» Dès que les colonnes s'étaient éloignées les unes des autres pour marcher, l'armée se trouvait dans un état de crise; car si,

[1] Dans ces conditions, la vie sur le pays eût été souvent impossible; car la queue de la colonne serait venue stationner chaque jour dans des localités qui auraient été occupées les jours précédents par les échelons de tête et où elle n'aurait pas trouvé de quoi vivre.



en ce moment, une des colonnes venait à rencontrer l'ennemi concentré, elle risquait fort d'être écrasée par des forces supérieures avant que les colonnes voisines pussent lui porter secours.

» Un problème nouveau, qui peut s'énoncer de la manière suivante, se posait pour le général en chef : *Se réunir pour combattre et se diviser pour marcher, vivre et reposer;* problème bien simple en lui-même, mais bien difficile à appliquer avec l'art et l'à-propos nécessaires pour être victorieux.

» L'art de la guerre, a dit Napoléon, est l'art de se diviser » pour vivre et de se réunir pour combattre. » *(Cours d'art militaire,* capitaines d'état-major, Dufour et Jeanne, 1893.)

Problème bien simple en apparence, dirons-nous aussi, mais bien difficile à résoudre si l'on ne possède de *bonnes cartes topographiques.*

On s'en aperçut inévitablement aussitôt : la Topographie prit une importance considérable dans les choses de la guerre et la cartographie topographique fit un pas de géant dans la voie du progrès.

L'importance des cartes topographiques n'a fait que grandir avec le développement des voies ferrées; la guerre de 1870, comme la Révolution française, est une époque marquante dans l'histoire de la Topographie, mais avec cette différence qu'à la Révolution on éprouva la nécessité d'avoir des cartes topographiques et qu'en 1870 les Allemands tirèrent tout le parti que l'on pouvait tirer des progrès réalisés en Topographie.

Depuis 1870, la cartographie topographique s'est perfectionnée d'une façon prodigieuse; il suffit, pour s'en convaincre, de jeter un coup d'œil sur les travaux exécutés depuis cette époque en Belgique et dans tous les pays de l'Europe : on peut affirmer qu'aujourd'hui les opérations de guerre, grandes et petites, ne s'étudient, ne se combinent, ne s'ordonnent, ne s'exécutent plus que par les cartes.

Aperçu historique.

Triangulation et Carte de CASSINI DE THURY, 1745-1776. — Triangulation et Carte de FERRARIS, 1770-1777. — La Révolution. — Le Consulat. — Napoléon. — La Restauration. — Les Cartes en Allemagne. — Depuis 1815 jusqu'à nos jours en Belgique. — Cartes de VAN DER MAELEN, 1825-1830, 1846-1854; travaux du Dépôt de la guerre, travaux de l'Institut cartographique militaire [1].

BUT DU COURS.

Le but du cours est double :

1° Enseigner aux élèves à se servir des cartes topographiques publiées en Belgique et dans les pays voisins;

---

[1] *Notice sur les triangulations qui ont été faites, en Belgique, depuis 1617 jusqu'à nos jours.* Général NERENBURGER. Bruxelles, Hayez, 1856.

Étude historique sur l'exécution de la carte de Ferraris et l'évolution de la cartographie topographique en Belgique. Colonel d'état-major HENNEQUIN. Bruxelles, veuve Vanderauwera, 1891.

Notice sur les cartes agricoles de la Belgique. Major d'état-major HENNEQUIN. Bruxelles, veuve Vanderauwera, 1885, page 59.

Notice sur les travaux topographiques exécutés au Dépôt de la guerre de Belgique. Lieutenant-colonel d'état-major Jules HENRIONET. Bruxelles, A.-J. Bataille, 1876.

Notice sur les travaux topographiques. Capitaine HANNOT. Bruxelles, A. Cnophs, 1881.

Notice sur les travaux de la reproduction de la carte de Belgique au 20.000e et au 40.000e. Capitaine HANNOT, A. Cnophs, 1881.

Rapport sur la cartographie et la topographie à l'Exposition de Paris. Major ADAN. Bruxelles, Mertens, 1878.

Notice sur les cartes, documents et objets exposés par l'Institut cartographique militaire au Grand concours international de Bruxelles en 1888. Bruxelles, Hayez, 1888.

Note sur la participation de l'Instit. cart. milit. à l'Exposition internationale du Livre, à Anvers, en 1890. Bruxelles, Hayez, 1890.

Notice sur les cartes, documents et objets exposés par l'Instit. cart. milit. à l'Exposition d'Anvers, en 1894. Bruxelles, Hayez, 1894.

2° Former des topographes capables d'exécuter des travaux semblables à ceux qui ont permis d'édifier nos cartes.

Les leçons, à ce dernier point de vue, sont une préparation théorique à l'exécution :

a) D'un nivellement au niveau proprement dit ;

b) D'un levé de terrain à la boussole-éclimètre dans les environs de Bruxelles ;

c) D'un levé de fortifications à la planchette dans le camp retranché d'Anvers ;

d) D'un levé de bâtiments.

Les travaux pratiques du cours comportent également des exercices de lecture des cartes sur le terrain ; des appréciations de distances à vue et au moyen des télémètres décrits au cours ; des reconnaissances topographiques militaires.

DIVISION DU COURS.

I. Construction et lecture des cartes topographiques.
II. Topographie : Instruments et opérations.
III. Reproduction des cartes (cartographie).
IV. Reconnaissances topographiques militaires.
V. Télémétrie.



PREMIÈRE PARTIE.

Construction et lecture des cartes topographiques [1].

> Pour devenir habile en quelque profession que ce soit, il faut le concours de la nature, de l'étude et de l'exercice.
>
> ARISTOTE.

Topographie signifie description d'un lieu au moyen du dessin.

La Topographie a donc pour objet de représenter, de décrire graphiquement sur un plan toutes les parties qui composent la surface d'un terrain, sous le triple rapport de leur position, de leur étendue et de leur relief.

La description d'un terrain au moyen du dessin, sur une feuille de papier, prend, suivant l'étendue de la surface qu'elle embrasse, le nom de *plan, levé* ou *lever, planchette, feuille* ou *carte,* auquel on ajoute le qualificatif *topographique.*

La réunion des planchettes ou feuilles topographiques exécutées sur le territoire d'un pays et raccordées *méthodiquement* entre elles forme la *carte topographique* de ce pays.

On entend encore par *levé* [2] l'ensemble des opérations qu'il faut exécuter sur le terrain pour arriver à la représentation graphique de ce terrain : ces opérations comprennent la *planimétrie* et le *nivellement* ou *altimétrie.*

---

[1] Un cours de Géodésie et de construction des cartes, indépendant du cours de Topographie, se donne à l'École militaire : nous ne nous occupons de la construction des cartes, dans le cours de Topographie, que d'une façon tout à fait élémentaire et simplement dans les limites restreintes de ce qui est nécessaire pour étudier dans tous ses détails notre carte officielle au 40.000e.

[2] On peut écrire levé ou lever : dans les documents de l'École militaire nous avons trouvé *levé.*



La planimétrie construit le figuré géométrique du terrain, et le nivellement en exprime le relief.

La *planimétrie* mesure et réduit à l'horizon [1] les angles et les côtés des figures géométriques qui limitent les détails naturels ou artificiels répandus sur le sol; le dessin planimétrique construit, en les *développant* sur une feuille de papier, les figures géométriques ainsi obtenues, après les avoir réduites à l'échelle du dessin [2]. Développements.

Il résulte de cette façon de procéder du topographe une déformation des figures géométriques du terrain, puisqu'il substitue une surface plane à une surface sphérique ou plus exactement à la surface d'un ellipsoïde de révolution qui ne peut être développée sur un plan.

L'importance de cette substitution est très minime, et peut être considérée comme absolument nulle, lorsque l'étendue des surfaces sur lesquelles on opère ne dépasse pas certaines limites, comme cela se présente *toujours* pour les levés *topographiques*.

En Topographie, par exemple, on substitue la tangente *mn* à l'arc *ab*; on commet une erreur

$$\varepsilon = mn - ab$$

ou $$\varepsilon = 2R\left(\text{tg}\,\frac{\alpha}{2} - \text{arc}\,\frac{\alpha}{2}\right).$$

Le rayon de la terre en Belgique est

$$R = 6.366.198 \text{ mètres.}$$

Soit $\alpha = 1$ grade [3].

$$\varepsilon = 2 \times 6.366.198\ (\text{tg}\,0{,}50 - \text{arc}\,0{,}50).$$

Si l'on effectue le calcul, on trouve

$$\varepsilon = 2^{m},55.$$

[1] Réduire à l'horizon une figure géométrique du terrain naturel c'est déterminer sa projection sur un plan horizontal.

[2] L'échelle est le rapport constant qui existe entre les figures tracées sur le papier et les figures homologues fournies par la projection du terrain sur un plan horizontal. (Voir plus loin *échelles*.)

[3] Le grade est la 400e partie de la circonférence, il se subdivise en

Un grand cercle étant égal à 40.000.000 mètres, l'arc *ab*, correspondant à un angle $\alpha = 1$ grade, vaut 100.000 mètres.

L'erreur ε pour 100 kilomètres n'est donc que de 2^{m},55. (Distance de Liège à Bruxelles.)

On verra plus loin que cette erreur est *négligeable* dans les opérations topographiques, qui n'ont pas pour but de fournir des éléments au calcul, mais seulement des longueurs et des angles au dessinateur.

Il n'y a donc aucun inconvénient à substituer à une surface sphérique de 100 kilomètres carrés sa projection sur un plan tangent en son milieu : or, les *levés topographiques* n'embrassent jamais pareille surface.

Les planchettes qui ont été exécutées par les officiers de l'Institut cartographique, et qui ont servi à construire la carte de Belgique, représentaient un terrain rectangulaire de 8 kilom. de base et 10 kilom. de hauteur seulement (planchette d'Uccle).

Mais, lorsqu'il s'agit d'édifier la *carte* topographique d'un pays, on ne peut songer à raccorder entre elles des planchettes exécutées d'une façon *indépendante* les unes des autres : le genre de développement sur un plan horizontal qui vient d'être indiqué, appliqué à une partie *considérable* de la surface de l'ellipsoïde terrestre donnerait des solutions de continuité entre les planchettes, et du reste l'accumulation des erreurs de tous les topographes dénaturerait tellement la planimétrie générale du terrain qu'on ne parviendrait même pas à la construire.

Il est indispensable que la topographie base ses opérations sur un travail d'ensemble préparatoire que fournit une autre science : la *Géodésie*.

La *Géodésie* détermine la position absolue des principaux points d'un pays *sur le globe*, et rapporte ces points sur un plan ou carte au moyen de leurs coordonnées géographiques et par un système de développement particulier qui altère *le moins possible* les relations de distances qui existent entre eux.

Les points que lève la Géodésie sont des monuments élevés,

---

100 minutes, et une minute en 100 secondes. Les limbes des instruments de topographie sont généralement aujourd'hui divisés en grades. 87 grades 63 minutes 76 secondes s'écrivent : 87,6376 grades.



des tours, des clochers dans lesquels elle peut établir des observatoires. Elle construit au besoin des observatoires spéciaux, appelés ***signaux géodésiques***, sur des parties tout à fait remarquables et culminantes du pays, quand les monuments élevés font défaut ou ne conviennent pas pour l'installation de stations géodésiques.

Dans les Ardennes, par exemple, les villages sont généralement bâtis dans de profondes vallées et l'on ne peut, d'un clocher, apercevoir les clochers voisins; de plus, les hauteurs sont généralement couvertes de forêts : il fallut presque toujours construire des stations géodésiques sur des points culminants [1].

Les points géodésiques forment, reliés entre eux sur la carte, un réseau de ***triangles géodésiques*** qui sert en quelque sorte de squelette, de charpente à la carte du pays.

La Topographie rattache ses levés à ce *canevas trigonométrique* [2] rigoureusement établi par des mesures directes de bases et des déterminations astronomiques.

Voici un aperçu très sommaire des travaux géodésiques qui ont servi de base à la construction de la carte topographique officielle que nous possédons en Belgique.

Ces données élémentaires sont indispensables pour l'étude des spécimens de cartes.

Triangulation géodésique.

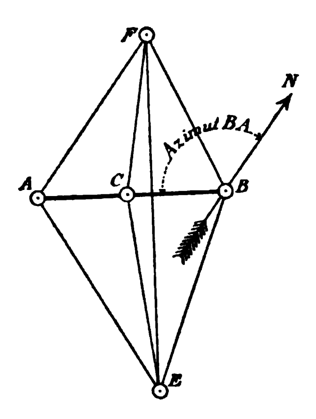
On couvre d'abord le pays dont on veut construire la carte, d'un réseau de triangles dont la position des sommets sur le globe est rigoureusement déterminée.

---

[1] Voir *Notice sur les travaux topographiques exécutés au Dépôt de la guerre de Belgique*, par le lieutenant-colonel HENRIONET. Bataille, Bruxelles 1876. Il est fort regrettable que les exemplaires de cette *Notice* soient aussi rares.

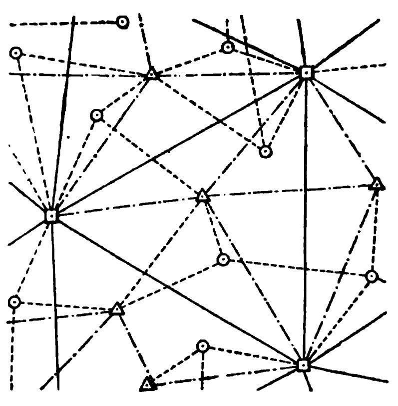
[2] Canevas, dans le langage usuel, désigne une grosse toile claire sur laquelle on fait de la tapisserie. Ce mot est souvent employé en Topographie : il désigne les opérations principales, fondamentales d'un levé quelconque, *l'ensemble des lignes remarquables* au levé desquelles on procède d'abord et auxquelles on rattache ensuite tous les détails.

On commence par mesurer, avec beaucoup d'exactitude, sur un terrain choisi, une base AB en ligne droite, divisée en deux tronçons AC et CB donnant trois *termes* ou extrémités A, C, B.



Des observations astronomiques font connaître les coordonnées géographiques (latitude et longitude) de l'un des termes, ainsi que l'*azimut* [1] de la base et déterminent ainsi la position et la direction de cette base sur le globe. Cela fait, on agrandit la base *mesurée* AB, par des mesures directes d'angles de triangles faites aux trois termes A, C et B.

Deux termes A et B suffiraient si l'on pouvait opérer avec une précision mathématique; comme il n'en est pas ainsi, il est indispensable d'avoir une vérification, un contrôle, une confirmation, une moyenne, c'est pourquoi on prend un terme intermédiaire; on le prend sur l'alignement des deux extrêmes pour n'avoir pas d'angle à mesurer dans la base, et l'on évite ainsi une première cause d'erreur.



On *calcule,* à l'aide de la base et des angles, la distance qui sépare deux points éloignés E et F, on forme une nouvelle base EF plus grande que la première AB.

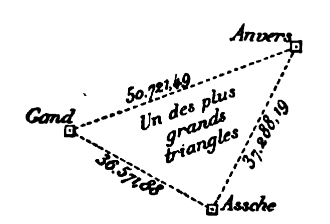
On opère sur EF comme on l'a fait sur AB pour arriver, après une série d'opérations, à posséder une base *calculée* de 20 à 30 kilom.

On rattache ensuite à ces premiers éléments géodé-

[1] Azimut BA, angle que fait le plan vertical contenant BA avec le plan du méridien passant par B.

siques, d'autres points remarquables du pays de manière à construire de grands triangles se rapprochant de la forme équilatérale. C'est ainsi que nous avons des côtés de triangle tels que Gand-Bruges 39.130^{m}11 ; Gand-Anvers 50.721^{m}49.

Dans ces premières opérations géodésiques, on mesure 50 ou 60 fois chaque angle au théodolite et l'on calcule la moyenne des mesures.



On obtient, de cette façon, ce que l'on appelle des sommets et une triangulation de premier ordre. Nous avons en Belgique 85 sommets de premier ordre, ils sont représentés sur les cartes par le signe ⊡.

S'appuyant sur les sommets de premier ordre, on forme une triangulation de deuxième ordre qui augmente la densité du réseau. Elle est caractérisée par des côtés plus petits et par un nombre de mesures d'angles moins considérable.

Les sommets de deuxième ordre, au nombre de 146, sont indiqués sur nos cartes par le signe △.

Enfin une triangulation de troisième ordre achève le *canevas géodésique*, en rattachant aux opérations précédentes presque tous les clochers et les monuments élevés du pays.

On a adopté, pour les 1759 sommets de troisième ordre, le signe ⊙ [1].

Les travaux géodésiques destinés à servir de base à la construction de la carte officielle de Belgique furent commencés dès 1851, sous la direction du général Nerenburger alors à la tête du *Dépôt de la guerre*, aujourd'hui *Institut cartographique militaire* [2].

---

[1] ⊡ Feuille de Bruxelles : clocher d'Assche, signal géodésique à un kilomètre Ouest de Leerbeek.

△ Feuille de Bruxelles : clocher N.-D. de Hal, clocher de Schepdael.

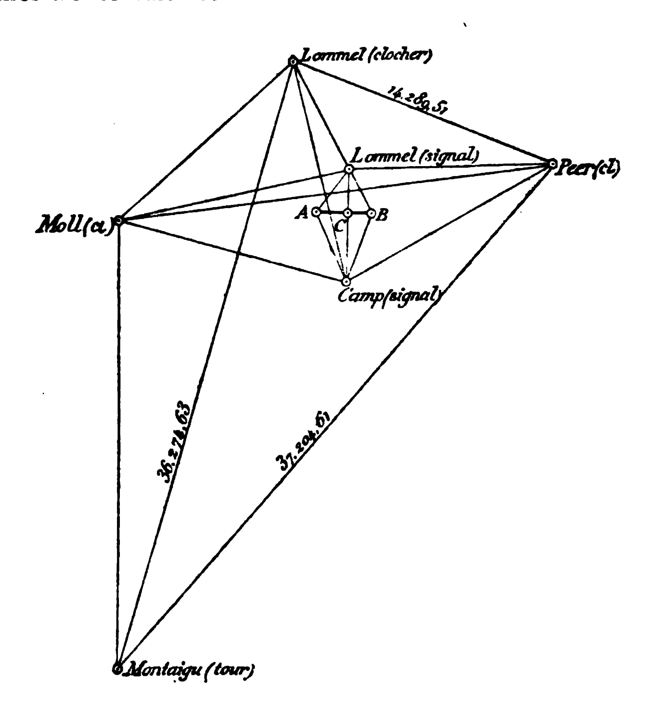
⊙ Id. presque tous les clochers.

[2] Ce ne sont pas les premiers travaux géodésiques entrepris par le *Dépôt de la guerre*, créé par Arrêté royal du 26 janvier 1831 ; voir à ce sujet la *Notice sur les triangulations qui ont été faites en Belgique, depuis 1617 jusqu'à nos jours*. Général NERENBURGER, 1856.

Deux bases furent choisies vers les extrémités du pays, l'une au Sud-Ouest d'Ostende, sur l'accotement Est de la route qui relie cette ville à Thourout, l'autre dans la bruyère de Lommel, au Nord du camp de Beverloo.

Ces bases furent mesurées à l'aide de règles métalliques d'une grande perfection, en prenant toutes les précautions scientifiques désirables pour éliminer les plus légères causes d'erreurs.

Puis on s'établit en station aux termes A, C et B, et, par des mesures d'angles, exécutées au théodolite, on rattacha, à ces bases, des points remarquables (clochers, tours, signaux) que l'on pouvait apercevoir et qui, dans la suite, serviraient eux-mêmes d'observatoires.



C'est ainsi qu'à la base de Lommel on forma d'abord deux triangles ayant pour sommet respectif *Lommel* (signal) et *Camp*

(signal) [1]. Puis, prenant pour base la base *calculée Lommel* (s) *Camp* (s), on leva deux autres triangles ayant pour sommets les clochers de *Peer* et de *Moll*. Enfin des observations faites à Peer et à Moll rattachèrent à la base, au réseau déjà construit, le clocher de *Lommel* et la tour de *Montaigu*.

Une série d'opérations analogues se greffèrent, comme il a été dit d'une façon générale, sur les deux opérations fondamentales de Lommel et d'Ostende, et couvrirent la Belgique de triangles géodésiques de trois ordres différenciés par leur importance, c'est-à-dire par la précision apportée dans la mesure des angles et la longueur des côtés.

Des observations astronomiques exécutées aux stations de *Lommel* (s), *Nieuport* (tour des Templiers) et *Bruxelles* (tour E de l'église St-Joseph), appuyèrent la triangulation géodésique de la Belgique sur des déterminations absolues et permirent d'orienter rigoureusement le vaste réseau de triangles tendu sur le pays.

« L'accord entre les deux bases est de *un centimètre* par le calcul direct des dix-neuf triangles qui les séparent : c'est là un résultat commandant une grande confiance dans l'ensemble des mesures [2]. »

Une vérification : On est parti de la base d'Ostende par cheminement vers la base de Lommel, et le calcul de la base calculée *Lommel* (s) *Camp* (s) n'a donné qu'une différence de 7 centimètres environ [3].

Restait, à présent que l'on connaissait la position sur le globe d'un grand nombre de points du territoire, à transporter graphiquement sur un plan, *sur le papier*, les résultats des opérations géodésiques exécutées sur la surface de l'ellipsoïde terrestre.

Le problème présentait de sérieuses difficultés, la surface d'un ellipsoïde ne pouvant être développée sur un plan.

Il fallut recourir à des procédés de projection ou mieux de

---

[1] Deux stations ou signaux géodésiques construits à dessein pour servir d'observatoires.

[2] *La Belgique à l'Exposition universelle de Paris 1878*. Rapport sur la cartographie et la topographie, par le major Adam.

[3] *Notice sur les triangulations en Belgique*, général Nerenburger, 1856, page 107.

développement qui altérassent le *moins possible* les relations de distance qui existent entre les différents points levés sur la surface terrestre.

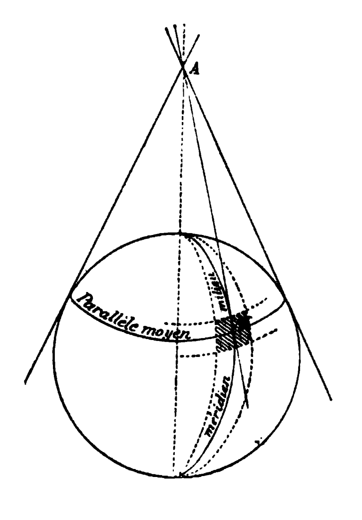
On avait le choix entre plusieurs systèmes ou méthodes de projection plus ou moins imparfaits : la préférence fut accordée au système du général *Sanson* et connu sous le nom de projection du colonel Bonne ou, plus improprement, sous celui de projection *Flamsteed modifiée,* à cause de la simultanéité de son apparition et de la production d'une projection analogue par le célèbre astronome anglais.

C'est le système adopté pour la carte officielle de France également ; c'était, à l'époque où furent entrepris nos remarquables travaux cartographiques, la méthode reconnue comme la meilleure et s'adaptant le mieux à la position géographique de la Belgique sur le globe terrestre.

La voici dans ses grandes lignes.

Projection de Bonne (dite de Flamsteed modifiée).

La surface de la terre est assimilée à celle d'un ellipsoïde de révolution engendré par l'ellipse méridienne du milieu du territoire, tournant autour du petit axe du monde. On commence donc par ramener la surface du globe à une forme géométrique régulière.

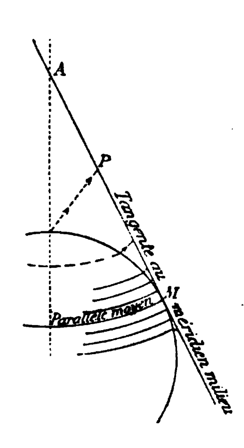


La surface d'un ellipsoïde ne pouvant être développée sur un plan, on lui substitue d'abord sa projection, ou, plus exactement, son développement sur la surface d'un cône tangent au parallèle moyen du pays ; puis on développe la surface conique sur un plan. La partie hachurée représente le territoire du pays dont on veut construire la carte.

Entrons dans quelques détails en examinant brièvement l'application du système à la construction de la carte de Belgique.

La Belgique est considérée comme une portion de la surface de l'ellipsoïde de révolution engendré par le méridien de l'Observatoire royal de Bruxelles, tournant autour du petit axe de la terre [1]. Le méridien de Bruxelles est le méridien d'origine, le méridien O pour nos cartes.

On suppose un cône tangent au parallèle moyen en nombre entier de grades, qui est le parallèle 56 grades passant à une minute centésimale environ (un kilomètre) au sud de Charleroi [2].



Le méridien milieu (méridien O) et le parallèle moyen se coupent en un point **M** situé à la fois sur l'ellipsoïde et sur le cône : **M** sera l'origine de deux axes auxquels seront rapportés tous les points de la carte.

On développe le méridien de Bruxelles en ligne droite, sur sa tangente AM, génératrice du cône.

Toutes les distances sur ce méridien conservent donc leur véritable longueur.

Le parallèle moyen appartient au cône et à l'ellipsoïde : sur ce parallèle non plus il n'y aura aucune altération de distance.

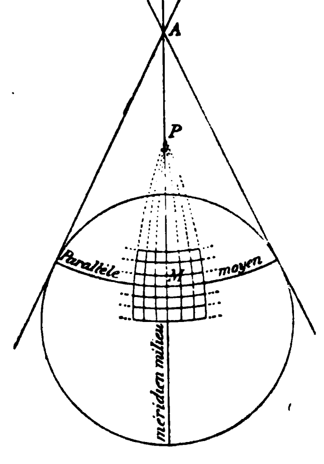
Remarquons que le parallèle moyen est tracé du sommet A du cône avec un rayon AM. Dans le système *Bonne*, on construit

---

[1] Le choix du méridien de l'Observatoire était tout indiqué : Bruxelles est la capitale du pays, son Observatoire était une station géodésique et astronomique complètement et supérieurement organisée; enfin le méridien de Bruxelles est à peu près à égales distances des méridiens extrêmes du territoire. Il s'agit de l'ancien Observatoire royal, situé boulevard Botanique, qu'occupent actuellement les bureaux des 3e et 4e directions du Ministère de la Guerre.

[2] Les latitudes pour nos cartes, comme pour toutes les cartes en général, sont comptées à partir de l'équateur.

les autres parallèles sur le cône, du même sommet, en faisant passer des cercles (concentriques donc au parallèle moyen) par les divisions en grades (et fraction de grade) du méridien principal *développé sur sa tangente.* Il ressort du procédé que les distances entre les parallèles ne sont pas altérées.



Il ne reste plus qu'à tracer les méridiens à droite et à gauche du méridien milieu : si l'on procédait comme on l'a fait pour les parallèles, si l'on divisait simplement le parallèle moyen en grades et si l'on prenait pour méridiens les génératrices droites du cône passant par ces divisions, il arriverait que les distances sur les parallèles seraient d'autant plus altérées qu'on s'écarterait, dans les deux sens, du parallèle moyen; aussi procède-t-on autrement.

On porte, à partir du méridien principal, à droite et à gauche de celui-ci, et sur *chacun des parallèles* tracés sur le cône, les longueurs mesurées sur les *parallèles correspondants* de l'ellipsoïde terrestre, et l'on joint les mêmes divisions en grades prises sur chacun des cercles : on trace ainsi les méridiens, qui sont des courbes allant concourir en un point P du méridien principal représentant le développement du pôle.

Enfin, la surface conique est elle-même développée sur un plan (Développements).

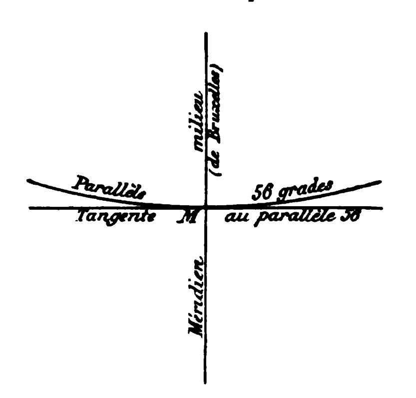
En résumé, il résulte de cette construction que les mesures prises sur le méridien principal et sur tous les parallèles ne sont pas altérées; que la proportion entre les surfaces conserve une exactitude à peu près rigoureuse; que les méridiens coupent perpendiculairement le parallèle moyen, et les autres parallèles sous un angle qui diffère très peu de 90° (Développements).

Les méridiens et les parallèles principaux étant construits sur

un plan (sur la carte), il n'y a plus qu'à rattacher à ce *canevas* les points situés entre ces parallèles et ces méridiens.

Le réseau de triangles établi, comme on l'a vu, par la Géodésie et l'Astronomie, permet de calculer les coordonnées géographiques de tous les sommets : ces sommets peuvent donc être portés sur le canevas des méridiens et des parallèles construit par la méthode *Bonne* (Développements).

On facilite cette opération et la construction sur le papier en rapportant les sommets géodésiques à deux axes rectangulaires rectilignes : le méridien de Bruxelles (méridien O) développé, comme on l'a vu, sur sa tangente, et la tangente au parallèle 56 grades.



(Tracez ces axes à l'encre rouge sur le Tableau d'assemblage.)

Les coordonnées rectilignes sont déduites, par *le calcul*, des coordonnées géographiques.

Construction sur le papier.

Comme il était impossible de construire la carte d'une pièce, on l'a divisée en feuilles dont les cadres, de dimensions convenables pour le travail des topographes sur le terrain et, plus tard, pour l'usage des officiers en campagne, sont formés de lignes droites parallèles aux axes des coordonnées. Les bords de ces cadres, les plus rapprochés du point central, sont devenus ainsi des axes particuliers de coordonnées, et celles-ci ont été facilement déduites des premières (Développements).

La carte officielle de la Belgique est construite à l'échelle du 40.000^{e}; elle comprend 72 feuilles de 0^{m}80 de largeur sur 0^{m}50 de hauteur dans le cadre : ce qui représente sur le terrain

un rectangle de 32 kilomètres de base et 20 kilomètres de hauteur, une surface de 64.000 hectares.

Les feuilles sont numérotées de gauche à droite, en commençant par le haut, et portent en outre le nom de la localité principale de la feuille (voir le *Tableau d'assemblage des feuilles de la carte de Belgique*, annexé à cette 1re partie).

La division en feuilles, comme on le constate en examinant le Tableau d'assemblage, n'a pas été faite d'une manière arbitraire; on ne s'est pas borné non plus à disposer symétriquement les rectangles par rapport aux axes : on a cherché à placer, non seulement Bruxelles, mais autant que possible tout le territoire des grandes villes *vers* le milieu des feuilles, afin d'éviter l'inconvénient pour l'officier de se procurer deux, trois, et peut-être quatre feuilles au 40.000e pour avoir la carte topographique des environs de sa garnison.

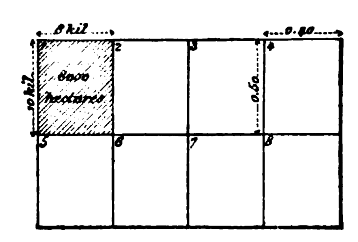
On est arrivé à ce résultat par des essais et des tâtonnements divers.

Et c'est ainsi que, pour former le premier rectangle, la feuille de Charleroi, à cheval sur les deux axes, on prend les abcisses (+ 12.000 m.) et (— 20.000 m.) et les ordonnées (17.240 m.)

et (— 2.760 m.). Voyez la figure : le premier rectangle étant déterminé, la position des autres est déterminée également, vu que les dimensions sont arrêtées.

Travail topographique sur le terrain.

Il fut arrêté, en 1856, que le levé de la carte serait fait à l'échelle du 20.000e, afin d'obtenir une exactitude très rigoureuse par la réduction photographique à l'échelle du 40,000e adoptée pour la publication.



Chaque feuille au 40.000e fut divisée en huit feuilles ou planchettes dont les dimensions au 20.000e donnent un rectangle de 50 centimètres de hauteur, dans la direction des méridiens, sur 40 centimètres de largeur dans le sens des parallèles : ce qui représente une surface de terrain de 8.000 hectares, de 8 kilomètres de base et 10 kilomètres de hauteur.

Les planchettes au 20.000e sont numérotées *dans chaque feuille* au 40.000e de 1 à 8, à partir de l'angle supérieur N.-O. de la feuille. Voyez le *Tableau d'assemblage* et la figure ci-contre.

La carte complète du pays, à l'échelle du 20.000e, constitue un ensemble de 437 planchettes *manuscrites*, établies par 150 officiers différents, appartenant au corps d'état-major et à l'arme de l'infanterie [1]. Chaque planchette a demandé à l'officier topographe un travail sérieux et constant de 6 à 7 mois sur le terrain, le reste de l'année topographique étant employé à la mise au net de la minute et à la préparation de la planchette pour la campagne suivante.

Le gouvernement hollandais avait fait exécuter le parcellaire cadastral de nos provinces à l'échelle du 2.500e. Un travail aussi

---

[1] Les 36 officiers d'état-major ont levé 70 planchettes, les 114 officiers d'infanterie 367 planchettes (HENRIONET).

important devait naturellement être utilisé pour la construction de la carte du pays, et l'on chargea une section spéciale d'officiers et de sous-officiers de réduire les plans cadastraux à l'échelle du 20.000^e à l'aide du pantographe.

La planimétrie fut ainsi appuyée sur la réduction des plans cadastraux, et cette opération préliminaire, tout en apportant de l'homogénéité dans l'établissement du canevas des minutes, eut pour effet principal de diminuer le travail graphique de l'officier topographe [1].

---

[1] « Avant de commencer leurs travaux sur le terrain, les officiers » recevaient les documents suivants :

» 1° La planchette minute, qui était une feuille de papier bristol, sur » laquelle était dessinée à l'encre très pâle la planimétrie du terrain à lever » et à niveler;

» 2° Un calque offrant également la planimétrie du terrain à reconnaître; » ce calque était construit en réunissant les réductions au 20.000^e des plans » cadastraux des communes, qui avaient servi à décalquer la planimétrie » sur les feuilles de papier bristol. Le calque ainsi réuni était coupé en six » parties, dont chacune était collée sur papier fort et avait les dimensions » voulues pour être placée dans un petit portefeuille, afin de permettre le » levé des détails sur le terrain;

» 3° Une feuille de coton calque, destinée à recevoir tous les chemi- » nements de nivellement, après qu'ils avaient été rapportés au crayon sur » la planchette minute; les périmètres de polygones y étaient décalqués à » l'encre rouge, les traverses à l'encre bleue et les repères du nivellement » général y étaient inscrits à l'encre de Chine ;

» 4° Des rapports hebdomadaires pour indiquer le degré d'avancement » du travail;

» 5° Des croquis de la planimétrie réduite au 80.000^e, destinés à com- » pléter les rapports hebdomadaires; le travail exécuté y était teinté en » jaune pour les périmètres des polygones, en bleu pour les traverses et en » vert pour les parties complètement terminées;

» 6° Des registres pour inscrire les opérations de nivellement;

» 7° Un journal de travail ;

» 8° Un registre destiné à inscrire tous les renseignements nécessaires à » la rédaction du mémoire que l'officier devait produire à l'appui de sa » planchette;

» 9° Un tableau indicatif des repères du nivellement général et de leurs » cotes qui se trouvaient compris dans le cadre de la planchette minute; le » nombre de ces repères était en moyenne de 30 par planchette. »

(*Notice* HENRIONET, page 155.)



Sur le terrain, ces réductions furent soumises à une vérification minutieuse et complétées dans leurs moindres détails : il était prescrit à l'officier de tout voir, de tout mesurer, de tout placer régulièrement sans faire la moindre omission. Ces planchettes, ainsi établies, constituaient donc une planimétrie parfaite, fort bien préparée pour y asseoir un nivellement sérieux et complet.

Le travail sur le terrain consistait :

1° Dans l'exécution du levé des détails ;

2° Dans la représentation des formes du relief.

Le levé des détails comprenait le dessin des maisons, haies, jardins, nature des cultures, remblais, déblais, cours d'eau, voies de communication, etc., en un mot tous les objets qui présentent un intérêt à la guerre.

Quant au relief, il fut exprimé par des courbes horizontales équidistantes de 1 mètre dans les pays de plaine et de 5 mètres dans les pays de montagnes; ces courbes furent construites à l'aide d'un nombre de points de nivellement qui devaient être au minimum de 40 à 50 par 100 hectares. (Voir plus loin *Expression du relief.*)

Les planchettes minutes exécutées par les officiers topographes furent ensuite mises au net avec le plus grand soin, puis réduites au 40.000e *par la photographie*.

Les réductions photographiées des huit planchettes composant une même feuille, furent enfin *gravées sur une seule pierre*.

Pour la clarté et l'élégance de la carte au 40.000e, on simplifia certains détails trop compliqués des minutes primitives, on supprima une partie des écritures trop nombreuses et on représenta le relief par des courbes équidistantes de 5 mètres.

La carte gravée en 72 feuilles constitue le *travail fondamental* du Dépôt de la Guerre, aujourd'hui Institut cartographique militaire, mais dans la suite on fit des *transports* de la gravure sur pierre et sur zinc (pages 39 et 40).

Il fut décrété en 1865 que les planchettes, à l'échelle même du levé et avec tous les détails que comportent les minutes, seraient imprimées et livrées au commerce.

On remplaça le procédé de la gravure sur pierre, trop lent et trop coûteux, par des applications directes de la photographie.

C'est ainsi que nous possédons deux types de cartes au 20.000ᵉ en 430 et 427 planchettes [1], le premier imprimé en noir, le second en couleurs (p. 34).

Les types primitifs ont subi diverses transformations depuis les débuts de la publication; la dernière édition en couleurs est topogravée.

Une visite à l'Institut cartographique militaire, quelques renseignements, que nous donnerons dans la troisième partie, sur les travaux de cet établissement si important et l'étude détaillée d'une feuille au 40.000ᵉ et d'une planchette au 20.000ᵉ complèteront ce rapide aperçu.

Étude des cartes topographiques.

Presque tous les pays de l'Europe possèdent des cartes topographiques de leur territoire.

Il est de nécessité absolue aujourd'hui que les militaires de tous grades sachent lire *couramment* une carte.

Or, pour arriver à lire couramment une carte, il faut non seulement posséder des données théoriques suffisantes sur la construction des cartes, mais se livrer à de fréquents exercices de lecture sur le terrain et revenir souvent, dans la suite, à la pratique de ces exercices.

Pendant toute la durée du cours, des problèmes sur les cartes au 40.000ᵉ et au 20.000ᵉ seront posés à toutes les interrogations au cabinet. Nous conseillons à chaque élève de se procurer et de faire coller sur coton la feuille au 40.000ᵉ sur laquelle est située la localité habitée par ses parents : l'étude de cette feuille sera pour lui aussi intéressante qu'instructive.

Échelles. — La première chose à considérer dans une carte,

---

[1] Il existe 437 planchettes manuscrites, avons-nous dit page 22, mais, comme sur les frontières plusieurs d'entre elles ne s'étendent que sur des parcelles du territoire belge, on a fait l'économie de quelques tirages en noir et en couleurs en réunissant les parties utiles de 2 ou 3 planchettes sur une seule feuille. Le *Tableau d'assemblage*, angle supérieur de gauche, donne à ce sujet tous les renseignements désirables.



c'est son échelle. L'échelle est le rapport constant qui existe entre les côtés des figures tracées sur le papier et les côtés des figures homologues données par la projection du terrain sur un plan horizontal.

Si l, l', l'' sont des longueurs mesurées sur la carte, L, L′, L″, des longueurs homologues du terrain, réduites à l'horizon, $\frac{l}{L} = \frac{l'}{L'} = \frac{l''}{L''} = \frac{1}{M}$ est l'échelle de la carte [1].

L'échelle est donc exprimée sous la forme d'une fraction ayant l'unité comme numérateur. Parfois on ne donne que le dénominateur : il est alors sous-entendu que le numérateur est l'unité.

Exemple. — Échelle de $\frac{1}{40.000}$, ou échelle au 40.000ᵉ, ou échelle du 40,000ᵉ.

$\frac{1}{M}$ est ce qu'on appelle l'échelle numérique de la carte.

De la proportion $\frac{l}{L} = \frac{1}{M}$ on tire :

$$1^{o}\ L = lM; \qquad 2^{o}\ l = \frac{L}{M}; \qquad 3^{o}\ M = \frac{L}{l}.$$

C'est-à-dire :

1° Que, pour connaître L, une longueur du terrain, il faut multiplier l, son homologue ***mesurée sur la carte***, par le dénominateur M de l'échelle;

2° Que, pour déterminer la longueur l, à porter sur le papier dans la construction de la carte, il faut diviser son homologue L du terrain par le dénominateur M de l'échelle choisie ;

3° Que, pour trouver M, le dénominateur de l'échelle d'une carte, il faut mesurer une longueur L sur le terrain, mesurer également l son homologue sur la carte et diviser la première de ces longueurs par la seconde.

REMARQUE. — L doit être prise en terrain horizontal, ou ramenée à l'horizontalité si la pente est forte.

---

[1] On ramène le numérateur à l'unité pour faciliter l'appréciation de la grandeur de l'échelle, les opérations, les comparaisons, etc.

Exemples pratiques. — 1° Carte au 20.000ᵉ, planchette d'Uccle.

On désire savoir la distance, à vol d'oiseau, du milieu de la cour d'honneur de l'École militaire au centre de la prison de Saint-Gilles.

Le double décimètre appliqué sur la carte donne $0^m,095$ entre ces deux points :

$$L = lM = 0^m,095 \times 20.000 = 1900 \text{ mètres.}$$

Carte au 40.000ᵉ, feuille de Bruxelles.

On veut connaître la distance du mamelon 80, situé au Nord de Sterrebeek, au mamelon 68, situé au Nord-Est de Nosseghem. (Un mamelon est exprimé par une courbe fermée, voir *Expression du relief.)*

Le double décimètre appliqué sur la carte donne $0^m,056$ environ entre les milieux de ces mamelons.

$$L = lM = 0^m,056 \times 40.000 = 2240 \text{ mètres.}$$

Il est utile de retenir ce que représente une longueur d'*un centimètre* aux échelles dont on se sert le plus souvent :

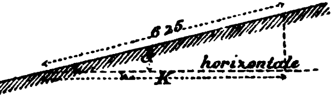
a) A l'échelle du 20.000ᵉ, $L = lM = 0^m,01 \times 20.000 = 200$ m.

b) A l'échelle du 40.000ᵉ, $L = lM = 0^m,01 \times 40.000 = 400$ m.

c A l'échelle du 160.000ᵉ, $L = lM = 0^m,01 \times 160.000 = 1600$ m.

2° Il s'agit de construire une carte au 20.000ᵉ, on veut porter sur cette carte une longueur de 625 mètres mesurée sur le terrain

$$l = \frac{L}{M} = \frac{625}{20.000} = 0^m,03125.$$



REMARQUE. — Si les 625 mètres étaient mesurés en terrain incliné, il faudrait au préalable les réduire à l'horizon. (Chercher K la projection horizontale des 625 mètres.)

$$K = 625 \cos \alpha.$$

3° On veut trouver l'échelle de la planchette d'Uccle.

On mesure au pas ou à la chaîne d'arpenteur la distance du

Rond-Point de l'Avenue Louise à l'entrée du Bois de la Cambre : On trouve 700 mètres.

La distance mesurée au double décimètre sur la carte, dont on cherche l'échelle, est $0^m,035$.

$$\frac{l}{L} = \frac{1}{M} = \frac{0,035}{700} = \frac{1}{20.000}.$$

La planchette est à l'échelle du 20.000e.

On veut déterminer l'échelle de la feuille de Bruxelles :

Les bornes kilométriques sont indiquées le long des routes. Le double décimètre accuse, pour la distance entre les bornes 9 et 10 de la route de Bruxelles à Charleroi, une longueur $l = 0^m,025$.

$$\frac{l}{L} = \frac{1}{M} = \frac{0,025}{1000} = \frac{1}{40.000}.$$

La feuille est à l'échelle du 40.000e.

Lorsqu'on connaît l'*échelle numérique* d'une carte, il est donc facile de déterminer *par le calcul*, d'après une dimension mesurée au double décimètre sur le plan, la dimension homologue du terrain, et, réciproquement, pour construire une carte, de trouver, au moyen d'une longueur mesurée sur le terrain, la longueur homologue à porter sur le papier.

Mais, les doubles décimètres et autres instruments font parfois défaut, se perdent avec la plus grande facilité en route, et les calculs, du reste, quelque simples et élémentaires qu'ils soient, sont toujours des sources d'erreurs sur le terrain. On a donc imaginé des dispositifs spéciaux, nommés *échelles graphiques*, qui suppriment les calculs et sur lesquels on obtient immédiatement le résultat que l'on cherche.

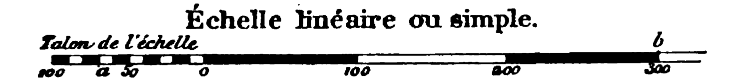
Il existe deux espèces d'échelles graphiques : l'échelle linéaire ou simple et l'échelle des transversales (nommée encore échelle à réseau, échelle des dixmes).

Ces deux espèces d'échelles sont connues, elles ont été données au cours de dessin. La simple inspection du tracé suffit du reste amplement pour les décrire.

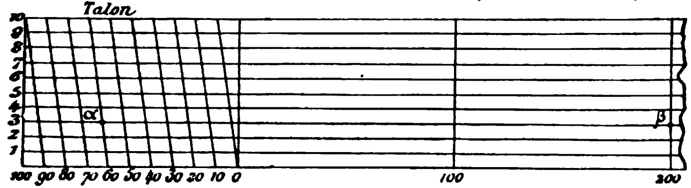
Usage. — Soit à apprécier la longueur d'une distance prise sur la carte.

On verra immédiatement, en portant cette longueur au compas ou autrement sur l'échelle linéaire, qu'elle est plus grande que 300 et plus petite que 400 mètres. On posera une pointe du compas en *b* (300), l'autre pointe ira en *a*, par exemple : on lira 370 mètres.

Soit à déterminer la longueur, à l'échelle du dessin, de 263 mètres mesurés sur le terrain naturel.



Échelle des transversales, (à réseau, des dixmes).



On placera une pointe du compas en β sur l'échelle des transversales et l'autre pointe en α.

Les cartes ne portent généralement que des échelles linéaires ; les échelles des transversales sont spécialement des échelles de construction. Dans les travaux pratiques de l'École, on se sert d'échelles des transversales pour l'établissement des minutes, c'est-à-dire des cartes brouillons, et ces échelles des transversales sont remplacées dans la mise au net par des échelles linéaires. Pour le levé des planchettes au 20.000ᵉ, il était *défendu* à l'officier topographe de se servir du double décimètre, les distances devaient être portées sur la minute avec une ouverture de compas prise sur l'échelle des transversales.

Pratiquement, en campagne on emploie le double décimètre, le compas, le curvimètre, une bande de papier, un fil, un brin d'herbe pour apprécier les distances données par la carte : on mesure la distance sur le papier et on la porte sur l'échelle. (Voir *mesure d'un itinéraire.*)

Si l'on se sert d'un double décimètre, on peut se dispenser de recourir à l'échelle graphique en déterminant d'avance ce que représente un centimètre à l'échelle de la carte.

Un centimètre représente M × 0,01 mètre.

C'est ainsi qu'au 20.000ᵉ un centimètre représente 200 mètres.

»	40.000ᵉ	»	»	400	»
»	160.000ᵉ	»	»	1600	»

Pour terminer ici tout ce qui est relatif aux échelles, il reste à faire connaître ce que l'on entend par *approximation de lecture* d'une carte et *quantité négligeable* dans les opérations à exécuter pour construire une carte.

On admet généralement que $0^m,0001$ est la plus petite longueur que puisse apprécier une bonne vue.

Le produit de $0^m,0001$ par le dénominateur M d'une carte représente donc la longueur des plus petits détails naturels du terrain dont le dessin peut faire mention.

$0^m,0001 \times M$ est ce qu'on appelle l'*approximation de lecture* d'une carte.

Ainsi donc, au $\frac{1}{40.000}$, tous les détails dont les dimensions naturelles n'atteignent pas $0,0001 \times 40.000 = 4$ m. ne devraient pas figurer sur la carte : nous verrons cependant, en traitant des signes conventionnels, qu'on s'écarte de cette règle dans la pratique (p. 49).

Puisqu'on ne peut apprécier un dixième de millimètre à l'œil nu, on peut, sans altérer l'exactitude graphique d'un levé, *négliger*, en construisant la carte, toute longueur du terrain qui, réduite à l'échelle du dessin, ne dépasse pas $0^m,0001$.

L'échelle étant $\frac{1}{M}$, la *quantité négligeable* est représentée par l'expression générale $\frac{M}{10.000}$ ou $M \times 0^m,0001$.

Certains détails, comme nous venons de le dire plus haut, quoique ayant des dimensions qui, réduites à l'échelle du dessin, sont inférieures à 0^m,0001, ont une importance telle qu'on ne peut omettre de les exprimer sur la carte : on les représente alors en exagérant une ou deux de leurs dimensions, ou simplement au moyen de ***signes conventionnels***, petits dessins rappelant aussi parfaitement que possible la physionomie générale de leur projection sur un plan horizontal. *Ces petits dessins ne sont donc pas à l'échelle de la carte.* On les adopte une fois pour toutes, d'une façon invariable pour une carte déterminée. Une légende, au besoin, les fait connaître au lecteur peu initié.

La série des signes conventionnels adoptée pour la carte de Belgique au 40.000^e sera donnée plus loin, p. 49.

(Voir *Tableau d'assemblage des feuilles de la carte de Belgique.)*

Il faut toujours, avant de commencer un levé, déterminer la ***quantité négligeable*** à l'échelle que l'on a adoptée.

Si l'on travaille au 20.000^e, M × 0^m,0001 = 20.000 × 0^m,0001 = 2 mètres.

Si l'on travaille au 2.000^e, M × 0^m,0001 = 2.000 × 0^m,0001 = 0^{m}20.

On voit que plus l'échelle d'un levé est grande [1], plus il faut apporter de soins et d'exactitude dans les opérations exécutées sur le terrain pour la construction de la carte : si l'on peut commettre sans inconvénient une erreur de moins de 2 mètres dans le levé d'une planchette au 20.000^e, une erreur de plus de 0^m,20 ne peut être tolérée dans l'exécution d'un plan au 2.000^e.

Classification des cartes.

La classification des cartes en trois espèces est basée sur ce qui précède.

Plus l'échelle d'une carte est grande, plus la carte peut donner

---

1 Une échelle est d'autant plus grande que le dénominateur M de la fraction qui l'exprime est plus petit.



des détails; réciproquement, plus l'échelle est petite, moins on peut exiger que la carte exprime les détails.

La quantité négligeable au 100.000e étant déjà très grande, 10 mètres, on admet que le 100.000e est l'échelle minima des cartes de détails ou *cartes topographiques*.

Jusqu'au 10.000e exclusivement, les cartes prennent généralement le nom de *plans topographiques;* la dénomination de *cartes topographiques* est donc spécialement réservée aux cartes dont l'échelle varie entre le 10.000e et le 100.000e.

Si l'échelle est plus petite que le 100.000e, tous les détails ne disparaissent pas encore; jusqu'au 1.000.000e, les particularités les plus importantes du territoire d'un pays peuvent être exprimées sur les cartes qui s'appellent *cartes chorographiques*. (Chorographie signifie : description d'une *contrée* au moyen du dessin.)

Notre carte réglementaire au 160.000e est donc une carte chorographique.

Enfin, au delà de 1.000.000e, les cartes ne peuvent plus donner que les grands accidents du sol, les divisions politiques, l'emplacement des centres importants de l'activité humaine, etc., on les désigne alors sous le nom de *cartes géographiques*.

Tableau d'assemblage des feuilles de la carte de Belgique.

« Ce Tableau [1] qui est à l'échelle du 800.000e et dont le canevas topographique a été complété en 1890 par l'addition d'un certain nombre de cours d'eau, fait connaître, en premier lieu, la subdivision en *feuilles* de la carte au 40.000e et la subdivision en *planchettes* de la carte au 20.000e.

» Il fixe les idées, d'une manière sommaire, sur le degré d'avancement de la mise à jour des feuilles au 40.000e, et, d'une manière plus détaillée, sur la 2e édition (trait en bistre), sur les conditions de réimpression en 1re édition et sur la publication

[1] Voir le *Tableau* annexé à cette 1re partie.



en nouvelle édition (topogravée et zincographiée) des planchettes en couleurs au 20.000e.

» Il fournit, d'autre part, le tableau des signes conventionnels adoptés pour la carte au 40.000e, en renseignant les figurés nouveaux introduits depuis quelques années.

Une liste alphabétique des 2603 communes belges a été répartie sur les marges latérales de la dernière édition du tableau; à côté du nom de chaque commune se trouvent les numéros de la feuille au 40.000e et de la planchette au 20.000e sur lesquelles la commune est située. On se sert de cette liste, soit pour désigner les cartes dont on désire faire l'acquisition, soit pour trouver rapidement sur la carte une commune dont on ne connaît pas la situation géographique.

Exemples : 1° Je désire faire l'acquisition de la feuille au 40.000e et de la planchette au 20.000e sur lesquelles je trouverai le village de *Mont-St-André*; je consulte la liste alphabétique des communes et je trouve *Mont-St-Andre* 40.3, ce qui signifie que cette localité est sur la feuille 40 — *Wavre* — et sur la planchette n° 3 — *Jodoigne* — de la feuille de Wavre.

2° Mon journal parle d'un accident qui s'est produit à *Wépion*, j'ignore absolument où est située cette commune : je lis, dans la liste alphabétique, *Wépion 47.7;* je consulte la carte au 800.000e du « tableau » et je constate que la feuille 47 est la feuille de *Namur* et que la planchette n° 7 de cette feuille est la planchette de *Malonne*.

Catalogue des publications de l'Institut cartographique militaire.

Ce document est imprimé au verso du « Tableau d'assemblage des feuilles de la carte de Belgique; » il donne les prix et les conditions de mise en vente des publications de l'Institut. Les officiers jouissent d'une réduction de 50 %.

Le catalogue et le tableau d'assemblage sont délivrés gratuitement à toute personne qui en fait la demande au Secrétaire particulier de l'établissement à la Cambre.

Outre les publications qui figurent au catalogue, l'Institut possède des cartes et de nombreux documents topographiques, manuscrits, autographiés ou imprimés qu'il fournit aux diverses

administrations ou qui ne sont pas répandus dans le commerce : Nous citerons seulement la *carte routière de la Flandre orientale* au 100.000ᵉ, topogravée en 1887; la *carte administrative de la Flandre orientale* au 100.000ᵉ, topogravée en 1889 ; la *carte de la voirie de la province de Liège* au 100.000ᵉ, entièrement topogravée 1888-89; la *carte de la Flandre occidentale* au 100.000ᵉ, gravée sur pierre 1890-93. — L'échelle du 100.000ᵉ est une bonne échelle.

Il serait infiniment intéressant d'examiner toute la série des cartes publiées par notre Institut cartographique militaire dont la réputation est si grande et si légitimement acquise, mais un simple coup d'œil, jeté sur toutes ces productions remarquables, absorberait seul le peu d'heures que le programme de l'École militaire accorde aux leçons de topographie.

Une visite à l'Institut, faite à la fin du cours, donnera une idée de l'importance de cet établissement.

Une exposition permanente des diverses cartes topographiques et militaires du pays et de l'étranger est ouverte au public tous les jours non fériés de dix à douze heures et de une à trois heures à l'Institut cartographique militaire à la Cambre. Un officier ne peut se dispenser de visiter cette belle collection.

Nous recommandons beaucoup aux jeunes officiers de lire : *Étude historique sur l'exécution de la carte de Ferraris et l'évolution de la cartographie en Belgique*, par le colonel d'état-major Hennequin, directeur de l'Institut cartographique militaire. *Bulletins de la Société royale belge de géographie*, 1891, nᵒˢ 3 et 4 (mai-juin et juillet-août); et en brochure, Bruxelles, veuve Vanderauwera, 1891 (voir la 3ᵉ partie du Cours).

Échelles des cartes militaires belges.

Plans directeurs des fortifications. — Ce sont des cartes topographiques à grande échelle, sur lesquelles pas un détail ne manque, exécutées avec un soin méticuleux et qui s'étendent, autour des places fortes, jusqu'à la limite de la portée efficace de l'artillerie.

Nos premiers plans directeurs ont été levés et exécutés au 5.000e.

Les plans du camp retranché d'Anvers ont été complétés et réédités au 10.000e.

Le travail sur le terrain est terminé pour les plans directeurs des têtes de ponts de Liège et de Namur. Ces plans, dont la mise au net au 10.000e est achevée, ont été levés et nivelés récemment à cette échelle et donnent jusqu'au parcellaire cadastral; ils comprennent tout le terrain des têtes de pont jusque huit mille mètres en avant des glacis des forts. La collection pour Namur se compose de 33 feuilles, et pour Liège de 40 feuilles. L'équidistance des courbes est de *un* mètre.

L'impression des plans de Namur et de Liège est en voie d'exécution et marchera rapidement.

Des spécimens de ces plans sont sous cadre à la salle d'études.

Cartes topographiques au 20.000e et au 40.000e. — Ces deux espèces de cartes comprennent plusieurs types qui se différencient, aussi bien par l'impression en noir ou en couleurs, que par les moyens de reproduction.

Les cartes au 20.000e sont faciles à lire, flattent l'œil, sont exécutées, surtout les cartes topogravées, avec un art et une perfection tout à fait remarquables, mais le papier est assez fort et la collection complète pour la Belgique compte 430 feuilles ou planchettes. La carte collée sur coton forme donc un volume fort respectable [1].

Aussi, la carte au 20.000e, excellente pour les excursions, les reconnaissances et les exercices du temps de paix, n'est-elle pas pratique en campagne, même pour les états-majors qui en emportent cependant une collection dans leurs bagages, mais dont ils ne se servent que dans des circonstances toutes spéciales (voir 3e partie).

Elle est surtout précieuse pour les administrations publiques

---

[1] Pèse 35 kilos. *Notice sur les cartes agricoles de Belgique*. Major d'état-major Hennequin. Bruxelles, 1885. Cette notice renferme une foule de renseignements intéressants sur nos cartes.



ou privées, les ingénieurs, les industriels, les agriculteurs, les géologues [1], etc. (voir page 55).

La carte au 40.000^e, en 72 feuilles pour la Belgique entière, est notre véritable carte topographique militaire, notre carte d'état-major en manœuvres et en campagne.

Le 40.000^e donne à peu près les mêmes renseignements que le 20.000^e, c'est la réduction par la photographie de ce dernier (voir page 24). Il est obtenu, en noir, par la gravure sur pierre. Pour la planimétrie, il se lit presqu'aussi facilement que le 20.000^e; quant au relief, il est beaucoup plus aisé de le définir au moyen du 20.000^e.

Une carte au 40.000^e, zincographiée en couleurs, est en voie de publication (voir pages 42 et 43). L'Institut cartographique a publié, le 8 mai 1895, la *Notice explicative* suivante au sujet de cette édition :

« La première livraison de la carte en couleurs au 40.000^e est composée des vingt et une feuilles : *Lokeren* (n° 14 du tableau d'assemblage); *Anvers* (15); *Lierre* (16); *Moll* (17); *Gand* (22); *Malines* (23); *Aerschot* (24); *Hasselt* (25); *Grammont* (30); *Bruxelles* (31); *Louvain* (32); *Saint-Trond* (33); *Nivelles* (39); *Wavre* (40); *Waremme* (41); *Liège* (42); *Mons* (45); *Charleroi* (46); *Namur* (47); *Huy* (48) et *Spa* (49).

» La lecture de cette carte est facilitée par la représentation en couleurs des routes et chemins pavés ou empierrés (imprimés en rouge), des cours d'eau, canaux, étangs, marais et tourbières (imprimés en bleu), et des limites de commune (imprimées en gris).

» Un trait interrompu rouge renseigne les voies de communication pavées ou empierrées qui ne sont plus entretenues ou qui ont le caractère de chemins particuliers, ainsi que les chemins sur le roc.

» Les principaux clochers — qui fournissent généralement d'excellents repères éloignés, mais qu'il est souvent difficile de reconnaître, sur la carte, au milieu des détails topographiques environnants — sont accentués par une teinte gris-violet, en forme de petit cercle de 2 millimètres de diamètre. Cette teinte a été obtenue par la superposition des couleurs rouge et bleue, et, par conséquent, sans augmentation du nombre des tirages.

» Les transports de gravure destinés à l'impression du trait, ont été mis

---

[1] Une carte géologique nouvelle est en voie de publication. Cette carte est en 226 feuilles, à l'échelle du 40.000^e, chaque feuille correspond à deux planchettes au 20.000^e.



à jour d'après la revision topographique exécutée sur le terrain, et en ayant égard aux renseignements les plus récents recueillis par voie administrative.

» Cette mise à jour a porté : sur la voirie pavée ou empierrée, les chemins de fer, les chemins de fer vicinaux (à voie large ou à voie étroite, sur route, sur chemin ou en site propre); sur les canaux, les eaux, les ouvrages de fortification, et sur les principaux détails topographiques : bois nouveaux, bois « dérodés, » constructions importantes, etc.

» Les noms des communes ont reçu l'orthographe que l'Institut cartographique admet actuellement pour ses cartes aux diverses échelles, et dont il a été question dans la *Note explicative au sujet de la Carte à l'échelle du 160.000e* (édition de 1894).

» Les cinquante-et-une autres feuilles de la carte, dont la préparation est fort avancée, paraîtront en livraisons successives dans le courant de cette année et au commencement de 1896. » — Prix : 3 francs.

Voir la troisième partie du Cours : *Reproduction des cartes*, et le chapitre *Étude détaillée d'une feuille au 40.000e*, page 40.

Pour plus de développement, on aura recours à l'*Étude historique* du colonel Hennequin, à la *Notice n° 17* de l'Institut cartographique, etc., aux *Notices spéciales* que l'Institut fait paraître lorsqu'il publie un nouveau type de carte ou une nouvelle édition.

Carte réglementaire au 160.000e. — Comme carte militaire chorographique nous avons le type réglementaire au 160.000e que tout officier doit posséder, collé sur coton (C. M. 15 décembre 1884), et emporter en campagne.

Le 160.000e, publié en six feuilles, est imprimé par le système de la chromolithographie; il a une surface totale de 1,80 mètre de largeur sur 1,30 mètre de hauteur. La dernière édition date de 1894 (voyez plus loin les *Notices).*

Carte au 320.000e. — Nous rangeons dans la catégorie de nos cartes militaires la *carte des chemins de fer, routes et voies navigables au 320.000e* — en noir ou en couleurs.

Cette carte, que possèdent toutes nos unités tactiques, est devenue réglementaire. Elle se présente sous l'aspect d'une feuille de dimensions parfaites pour bureau ou salle de lecture; elle est très claire, fort agréable à lire et d'un usage journalier; elle donne beaucoup de renseignements et ne coûte à l'officier que 1,50 franc. Nous en parlons encore plus loin et donnons la

Notice de l'Inst. cart. mil. concernant la dernière édition qui a paru en 1894.

Cartes des environs des garnisons, à l'échelle du 40.000ᵉ (voyez plus loin la *Note* de l'Inst. cart. mil.).

Carte de service des environs de Bruxelles, à l'échelle du 10.000ᵉ. Édition de 1894 (voyez plus loin).

Pour trouver facilement *tous* les renseignements que contient la première partie sur un type de carte, il suffit de consulter la *Table des matières*.

Échelles des cartes militaires étrangères.

France. — Cartes au 10.000ᵉ pour les environs des places fortes, au 20.000ᵉ pour les garnisons et quelques départements.

Le Dépôt général de la guerre français a adopté le système de développement du colonel Bonne pour la carte dite de l'état-major au 80.000ᵉ, et les hachures pour exprimer le relief.

Les levés primitifs ont été exécutés, comme en Belgique, à l'échelle du 20.000ᵉ; la gravure *sur cuivre* est au 80.000ᵉ. La carte de France se compose de 273 feuilles de 0,50 mètre de hauteur sur 0,80 mètre de largeur (voir les spécimens).

Il en existe aussi un report exécuté sur pierre et une édition zincographique par quarts de feuille.

Une carte en *courbes* à l'équidistance de 10 mètres et en couleurs, à l'échelle du 50.000ᵉ, est en cours de publication (voir la feuille de Plombière).

La carte au 100.000ᵉ, dite du ministère de l'Intérieur, en couleurs, est très belle, très complète, mais un peu surchargée (voir le spécimen Paris).

Comme carte chorographique, la France a le 320.000ᵉ en 33 feuilles (hachures). Une carte au 200.000ᵉ en courbes et en couleurs est en voie de publication.

La carte de l'Algérie du Dépôt de la guerre est établie au 400.000ᵉ en 5 feuilles.

La carte de Tunisie au 200.000ᵉ donne le relief en courbes de niveau, tracées en bistre, équidistance de 50 mètres.

Allemagne. — Comme la France, l'Allemagne possède un

très grand nombre de cartes supérieurement exécutées. Chaque principauté, chaque royaume englobé dans l'empire, a ses cartes spéciales dont l'échelle est généralement le 50.000e. La carte de la Prusse est une carte au 80.000e.

La nouvelle carte de l'État-major pour l'Empire est une fort belle carte au 100.000e, exprimant le relief par des hachures d'un système spécial que nous étudierons sommairement plus loin; les cours d'eau sont teintés en bleu, ce qui rend la lecture de la carte facile et agréable (voir les spécimens : site plat et site de montagnes).

Une carte au 25.000e en noir, cours d'eau en bleu, relief ***en courbes de niveau*** à l'équidistance de 5, 10 ou 20 mètres, est en voie de publication : les planchettes ont l'aspect général de notre 20.000e en noir, mais le bleu des eaux en rend la lecture plus facile (voir les spécimens).

Néerlande. — Cartes au 50.000e et au 200.000e; relief exprimé au moyen de hachures et cotes en mètres (voir les spécimens).

Luxembourg. — Cartes au 40.000e, carte de Prusse au 80,000e et carte de l'État-major allemand au 100.000e (voir les spécimens).

Iles Britanniques. — Une carte des comtés au 10.560e et une carte d'État-major au 63.360e. Courbes et hachures, cotes en pieds de $0^m,305$.

La première de ces échelles est ce qu'on appelle l'échelle de 6 pouces, la seconde l'échelle d'un pouce.

Le mille vaut 1760 yards (1609 mètres), le yard 36 pouces.

Un mille $= 1760 \times 36 = 63.360$ pouces. L'échelle du 63.360e exprime donc le rapport du pouce au mille (voir les spécimens).

Suisse. — La carte de la Suisse au 100.000e est un des plus beaux spécimens de ce qui a été fait comme lumière oblique; c'est un chef-d'œuvre comme conception et comme exécution. Ce pays a, en cours de publication, une très belle carte au 50.000e pour les parties très montagneuses et au 25.000e pour le reste du territoire — en courbes et cotes en mètres [1] (voir les spécimens).

---

[1] M. Horace Coulin, ingénieur-topographe suisse, a publié dans la *Revue*



Il y a tendance donc générale à abandonner les hachures et à adopter les courbes de niveau pour l'expression du relief en topographie.

« **Le système des courbes hypsométriques pour exprimer le**
» **relief n'est pas nouveau, mais c'est la Belgique qui, la première,**
» **en fit l'application pour sa carte topographique officielle.** »

(Extrait de *La Belgique à l'Exposition universelle de Paris, 1878.* — Rapport sur la cartographie et la topographie, par le major ADAM. — Bruxelles, Mertens, 1878. — Nous avons emprunté beaucoup à cette excellente petite brochure dont les exemplaires deviennent fort difficiles à trouver.)

Voyez, à la fin de cette 1re partie, *Cartes étrangères.*

Étude de la carte de Belgique à l'échelle du 40.000e.

Les élèves ont sous les yeux la feuille de Bruxelles et le Tableau d'assemblage. Ce tableau donne les signes conventionnels adoptés pour la carte au 40.000e.

Le levé topographique est entouré d'un double cadre dont l'étude sera faite après l'examen des renseignements inscrits en dehors de ce cadre.

BRUXELLES en lettres capitales droites, au milieu de la partie supérieure de la carte, désigne la feuille et fait connaître la localité principale du levé.

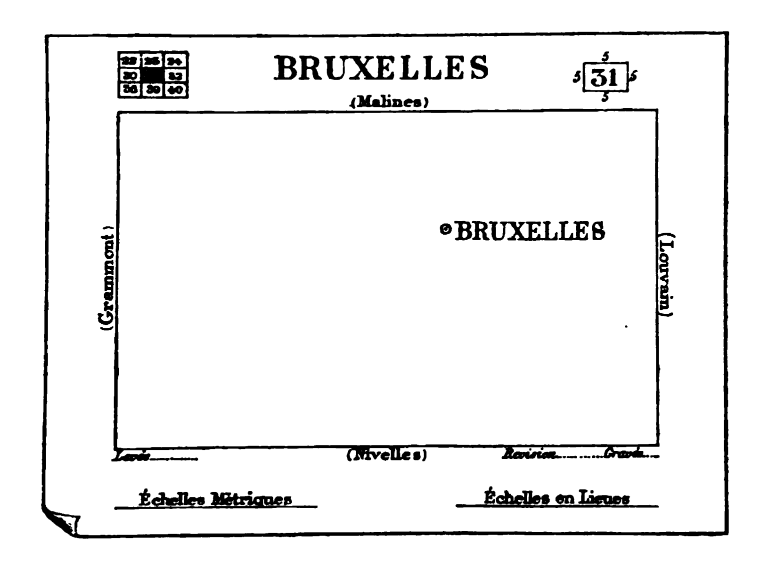
Le chiffre 31 à droite est le numéro que porte la feuille au tableau d'assemblage. Les chiffres plus petits, placés sur les côtés du rectangle entourant 31, désignent les bandes ou zones verticale et horizontale, du même tableau, au croisement desquelles est située la feuille de Bruxelles. Les zones portent des numéros inscrits dans le cadre du tableau d'assemblage.

Le damier dans l'angle supérieur de gauche représente un

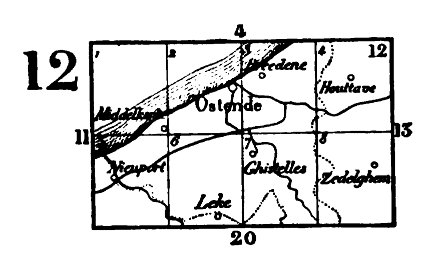
---

militaire suisse, nos 3 et 4 de 1894, et dans *Le Globe,* de Genève, t. XXXIII, un aperçu des plus intéressants pour nous sur la topographie en Suisse. Le Mémoire a paru en une petite brochure de 60 pages. — Genève, librairie Burkhardt, 1894.

fragment du tableau d'assemblage, indiquant les numéros des feuilles voisines de celle qu'on a sous les yeux et dont le numéro occupe la case hachurée du milieu.



Ce fragment du tableau d'assemblage, permet de trouver immédiatement, dans une collection, les feuilles voisines de celle que l'on a sous les yeux et aussi de classer méthodiquement les cartes dans une bibliothèque ou dans les caisses des états-majors. Pour la nouvelle édition, c'est absolument



un fragment du tableau d'assemblage au 800.000^{e}, avec cours d'eau et subdivisions en planchettes au 20.000^{e}. Voir le spécimen ci-joint, feuille d'Ostende.

Lorsque la feuille est collée sur coton, le fragment découpé se place sur l'une des faces extérieures de la carte pliée, p. 44.

Malines, Louvain, Nivelles, Grammont, inscrits parallèlement et extérieurement aux bords du cadre, désignent également les feuilles voisines, dispensent souvent de recourir au tableau d'assemblage et fournissent des indications plus complètes que les numéros du damier sur l'étendue des levés voisins.

Le long du bord inférieur on lit divers renseignements :

Levée et nivelée en 1865. — Rédigée et gravée au Dépôt de la guerre à Bruxelles en 1878. — Équidistance de 5 mètres. — Revision de la gravure (voirie) en 1887. — Complément en 1890. — Gravée par J.-B. De la Hoese, J. Ongers et J.-W. Menger.

Toutes ces inscriptions, à part « Équidistance de 5 mètres, » donnent à la fois l'historique de la feuille et le degré de confiance que l'on peut accorder aux renseignements topographiques qu'elle fournit. A ce dernier point de vue, c'est principalement la date de la dernière revision qui doit attirer l'attention :

Revision de la gravure (voirie) 1887. Complément en 1890.

Les feuilles sont gravées sur pierre et tout changement, si minime qu'il soit, demande un travail considérable et coûteux; aussi, toutes les feuilles ne sont-elles pas aussi souvent revisées que celles de Bruxelles et de quelques autres centres importants.

Remarquer également le mot (voirie) : la revision ne porte que sur la voirie (voir *Reconnaissances topographiques*, 4e partie).

L'Institut cartographique publie également, depuis une dizaine d'années, une carte au 40.000e imprimée par *transport* de la gravure.

« Les impressions par transport sont, comme on le sait, moins belles que les épreuves directes de la gravure; mais elles rachètent cet inconvénient par de nombreux avantages, notamment par la rapidité plus grande du tirage et par la possibilité d'effectuer sur pierre, à la plume, certaines corrections au fur et à mesure des besoins.

» Les transports des pierres de gravure employés pour l'impression des épreuves dont il s'agit ont été constitués en vue de satisfaire aux besoins éventuels de l'armée en cas de mobilisation ; ils permettent de livrer aussi aux divers services administratifs et au public des feuilles au 40 000e qui expriment, plus exactement que les épreuves des pierres mêmes de la gravure, l'état actuel des voies de communication. »



La feuille en gravure coûte 5 francs, en transport de la gravure sur papier fort 3 francs et sur papier action 2 francs (réduction de 50 °/₀ sur ces prix pour l'officier).

Une édition nouvelle, *à bon marché*, avec routes et chemins pavés, eaux et limites des communes en couleurs est en voie de publication, p. 36.

« Équidistance de 5 mètres » signifie que les courbes hypsométriques, exprimant le relief, sont situées dans des plans horizontaux équidistants de 5 mètres.

Voir pour plus de détails le § « Expression du relief. »

Tout au bas de la carte sont tracées deux échelles linéaires, qui ne demandent aucune explication, la théorie des échelles ayant été donnée.

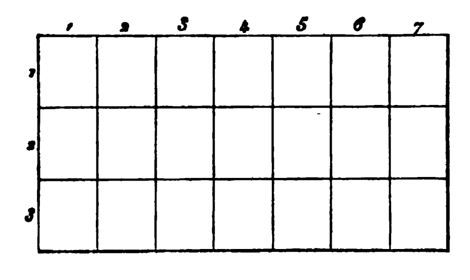
L'échelle double en lieues est en somme fort inutile aujourd'hui. La lieue officielle belge est du reste de 5 kilomètres.

La lieue de **4444^m,44** est la lieue de 25 au degré.

Celle de 5555^m,56 la lieue de 20 id.

Collage sur soie ou sur coton. — Une feuille de papier roulée est d'un maniement impossible en route, à cheval surtout, au vent et à la pluie; on ne peut mettre un rouleau en poche ou dans une sacoche, ni même dans les coffres des états-majors.

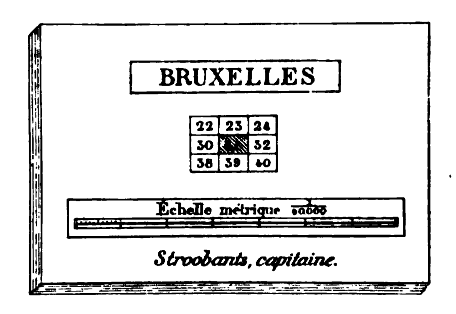
Il faut donc plier la carte; mais le papier plié et déplié fréquemment se coupe dans les plis, s'ouvre difficilement, se déchire; il faut qu'une carte, pour être maniable, soit collée sur un tissu léger, de soie, de toile ou de coton, qui consolide le papier et permette de plier la feuille en portefeuille de dimensions telles qu'on puisse aisément le mettre en poche, dans les fontes d'une selle d'ordonnance ou dans une sacoche d'état-major.



On la découpe à cet effet en rectangles de dimensions convenables, que l'on colle sur le tissu, en ménageant entre eux un

espace de 1 ou 2 millimètres, suivant l'épaisseur du papier et du tissu, pour que la carte puisse être pliée facilement et former pliée un portefeuille bien plat.

On supprime ordinairement les bords de la feuille jusque 3 ou 4 millimètres du cadre extérieur, pour réduire autant que possible sa surface et son volume, en conservant néanmoins tous les renseignements utiles inscrits le long et près du cadre.



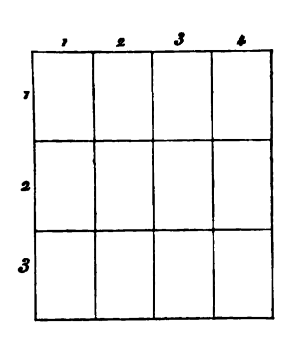
Le nom de la localité principale, le fragment du tableau d'assemblage et l'échelle métrique sont collés au verso d'un rectangle qui sera à l'extérieur de la carte pliée.

Le chiffre gras **31**, numéro de la feuille, et les échelles en lieues font double emploi, on les supprime.

Voir les figures ci-contre et les cartes au 20.000ᵉ et au 40.000ᵉ de l'École militaire, qui sont collés d'après ces indications.

La subdivision de la carte au 40.000ᵉ qui paraît la plus pratique est celle en 21 rectangles.

L'état-major de l'armée et toutes les unités tactiques, compagnies, escadrons et batteries inclusivement, emportent en campagne, dans une de leurs voitures, une collection complète des feuilles de la carte au 40.000ᵉ.



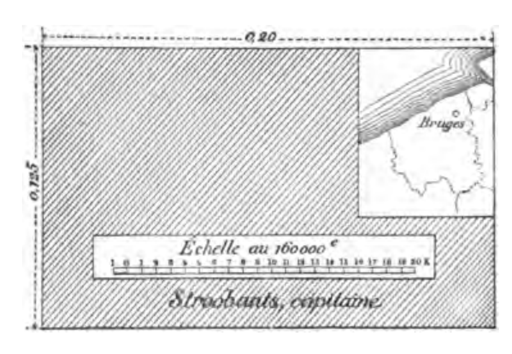
Pour la carte au 20.000ᵉ, on prend d'habitude la division en 12 rectangles (voir la figure).

L'état-major de l'armée et les états-majors des divisions d'armée ont seuls dans leurs bagages les planchettes au 20.000ᵉ collées sur coton (v. 4ᵉ partie).

La carte réglementaire au 160.000ᵉ,

édition de 1894, est imprimée en six feuilles. Chaque feuille, grâce à des repères marqués sur les traits intérieurs des cadres, peut être divisée ou découpée en 18 rectangles correspondant chacun à l'une des 72 feuilles qui constituent la carte gravée au 40.000ᵉ.

« Lors donc que la carte au 160.000ᵉ aura été subdivisée » comme il vient d'être dit — ce qui est surtout à conseiller » pour la coller sur coton à format portatif — la comparaison » s'établira directement entre ses » différents rectangles et les 72 feuilles au 40.000ᵉ. »



Les dimensions de la carte pliée sont alors 0,125 et 0,20.

On applique au verso de chaque feuille, sur coton, une échelle et un fragment d'une réduction au 1.600.000ᵉ de la feuille : les échelles et les réductions de la carte sont délivrées, en même temps que celle-ci, aux officiers par l'Institut cartographique militaire.

Le fragment de la réduction indique immédiatement à quelle partie de la carte appartient la feuille pliée : on n'est donc pas obligé d'ouvrir celle-ci pour avoir ce renseignement.

La carte réglementaire est donnée une première fois à chaque officier qui doit en rester possesseur à l'égal de ses règlements militaires *et doit la faire coller sur coton* (C. M. 15 déc. 1884. J. M. O. 1884, p. 370).

L'officier l'emporte dans ses bagages en campagne, il ne prend sur sa personne que le sixième de la carte, la feuille sur laquelle se trouve la zone du pays occupée par l'armée.

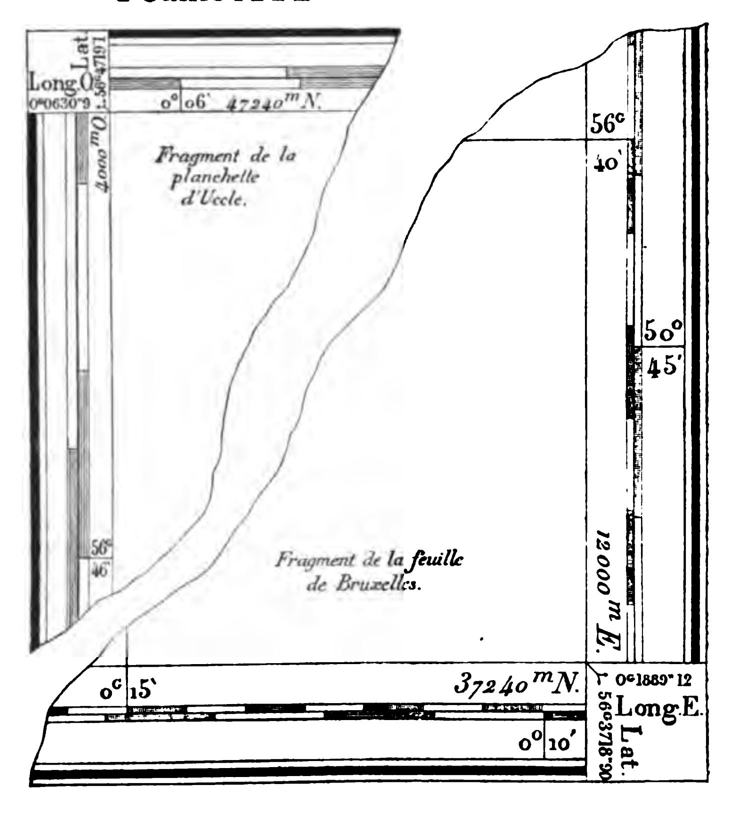
Conseil pratique. — Inscrire son nom et son grade à l'encre et d'une façon bien apparente sous l'échelle collée ou sur le verso du portefeuille. Les cartes se perdent ou se prêtent et on ne les revoit plus si on néglige cette précaution.

Le cadre.

Le cadre extérieur de la feuille au 40.000e n'est qu'un ornement.

Les bords du cadre sont à peu près parallèles aux méridiens

Feuille XXXI



et aux parallèles dans toute l'étendue du territoire de la Belgique.

Cette particularité peut être mise à profit pour orienter rapidement une feuille topographique sur le terrain.

Si l'on désire une orientation plus rigoureuse, on se sert des méridiens et des parallèles tracés de cinq en cinq minutes centésimales à travers la feuille, ou des détails de la planimétrie (voir *Orientation*).

Le cadre intérieur porte, sous forme d'échelle double, les origines en grades et en degrés des méridiens et des parallèles de la carte de demi-minute en demi-minute.

Problème. — Trouver les coordonnées géographiques du château de Gaesbeek (au S.-O. de Bruxelles).

On mène, par le château, des parallèles au méridien et au parallèle les plus voisins et on lit les coordonnées sur le cadre. On trouve approximativement :

0°19′25″ longitude O (de Bruxelles).
56°44′8″ latitude N (de l'équateur).

Le méridien d'origine des longitudes, méridien 0, est le méridien passant par l'ancien Observatoire royal de Bruxelles [1].

Les longitudes sont E (Est) ou O (Ouest), c'est-à-dire à droite ou à gauche du méridien de Bruxelles.

Les latitudes se comptent à partir de l'équateur.

Les angles du cadre donnent les indications nécessaires pour reconnaître immédiatement si la feuille est située à l'E ou à l'O du méridien d'origine, ou si, comme c'est le cas pour la feuille de Bruxelles que nous étudions, elle est à cheval sur ce méridien.

On lit dans ces angles les coordonnées géographiques de leur sommet ainsi que leurs coordonnées rectilignes.

Exemple : Angle S-E de la feuille de Bruxelles.

0°1889″12 long. E (du méridien de Bruxelles).
56°3718″90 lat. (nord de l'équateur).

---

[1] Le méridien de Bruxelles est à 2°2′ E du méridien de Paris.
» » à 4°22′ E du méridien de Greenwich dont l'heure est l'heure officielle en Belgique depuis le 1er mai 1892.

Le soleil passe au méridien de Greenwich environ dix-sept minutes plus tard qu'au méridien de Bruxelles.



Ce sont là les coordonnées géographiques.

12000 E et 37240 N sont l'abcisse et l'ordonnée en mètres du sommet de l'angle par rapport aux deux axes rectilignes de la carte.

En d'autres termes, ces chiffres signifient que le sommet de l'angle est situé à 1200 mètres à l'Est (à droite) du méridien de Bruxelles, et à 37240 mètres au Nord (au-dessus) de la tangente au parallèle 56 grades qui passe un peu au Sud de Charleroi (voir pages 20 et 32).

Le cadre peut servir d'échelle. — Les 400 grades d'un méridien valent en effet 40.000.000 mètres et l'arc de méridien d'une minute centésimale $\frac{40.000.000}{40.000} = 1000$ mètres. Exactement pour notre méridien $1000^{m}983$ [1].

Les bords du cadre, dans le sens des méridiens, sont donc de *véritables échelles* de la carte dont la plus petite subdivision (une demi-minute centésinale) vaut 500 mètres.

On pourrait se servir également des bords du cadre donnant les longitudes, mais il se présente un inconvénient : le rayon et par conséquent les arcs des parallèles varient avec les latitudes. Il faudrait retenir des chiffres, le procédé n'est pas pratique sur le terrain.

Une minute centésimale à la latitude de 56° vaut en chiffres entiers 635 mètres. La plus petite subdivision en grades des bords perpendiculaires aux méridiens, vaut donc, pour la feuille de Bruxelles, 318 mètres.

L'échelle du cadre en degrés peut être utilisée de la même façon que l'échelle en grades, mais elle est d'un usage moins commode.

L'arc d'un degré de méridien vaut $\frac{40.000.000}{360} = 111.111^{m},111$ [2].

La minute de méridien vaut $\frac{111.111,111}{60} = 1851^{m},85$.

---

[1] Et à notre latitude, le grade de méridien étant une quantité variable par suite de la forme elliptique des méridiens.

[2] Exactement à la latitude de 51 degrés $111.231^{m},8$.

La plus petite division de l'échelle, une demi-minute, $\frac{1851,85}{2}$ = 926 mètres.

Problèmes. — Reconstituer l'échelle linéaire de la feuille au moyen des données du cadre.

Mesurer une distance de la carte en la portant sur le cadre.

Déterminer l'échelle d'une carte à l'aide des méridiens et des parallèles tracés sur cette carte.

Dessin planimétrique (signes conventionnels).

Le figuré géométrique du terrain sur une feuille de papier est obtenu par la reproduction, à l'échelle du dessin, de la projection horizontale des *contours* des accidents naturels ou artificiels que l'on rencontre sur le sol.

Si l'on se bornait à représenter les contours par de simples lignes, on obtiendrait une épure de géométrie descriptive et non une carte topographique. Il faut non seulement que l'on connaisse la forme géométrique des objets répandus sur la surface du terrain, mais aussi la nature de ces objets et la nature de leurs limites.

Il faut que l'on sache, par exemple, que tel rectangle tracé sur la carte représente un bois, que tel côté de ce *rectangle-bois* est un fossé, un mur, une haie, ... qui le sépare d'un parc, d'un pré ou de terres labourables.

Il devient par conséquent nécessaire de *convenir* que telle teinte, tels petits dessins, tels *signes* particuliers indiquent que telle figure géométrique est un bois, un pré, un parc, une terre labourable, ... que les limites tracées de telle façon signifient que les parcelles de terre sont séparées par des fossés, des murs, des haies, ... Il faut en résumé que l'on adopte des teintes, des dessins, des tracés de *convention*, des *signes conventionnels*.

Certains accidents du sol ont une très grande importance quoique de dimensions trop exiguës pour être reproduits à l'échelle de la carte (Approximation de lecture, page 30).

Les routes, les chemins et les sentiers, par exemple, seraient

représentés par deux traits qui se confondraient en un seul trait *imperceptible* pour les sentiers et souvent pour les chemins; rien dans ce trait ne révélerait la nature du sol du chemin que le militaire a si grand intérêt à connaître : on convient d'exagérer la largeur des routes, des chemins et des sentiers et d'en exprimer la catégorie et le degré de praticabilité par un tracé de *convention* (Développements et figures; consulter le *Tableau d'assemblage* pour les signes conventionnels adoptés en Belgique pour la carte au 40.000^e).

Autre exemple. — Bien peu de bâtiments pourraient figurer d'une façon intelligible sur une carte : comment dessiner, mais surtout distinguer ensuite d'un simple point, un carré de deux dixièmes de millimètre de côté?

Or, ce carré reproduit cependant, à l'échelle du 40.000^e, la projection d'une construction assez importante, occupant une surface de 64 mètres carrés!

Aussi, ne dessine-t-on pas les bâtiments à l'échelle, mais adopte-t-on un signe particulier qui les représente : *ce signe conventionnel*, pour être facile à retenir, ressemble à la projection horizontale de la construction dont on exagère simplement les dimensions (Développements et figures).

Définition. — On donne spécialement le nom de *signes conventionnels* à une série de petits dessins, simples, faciles à reproduire et à se graver dans la mémoire, figurant *autant que possible la projection horizontale des objets qu'ils représentent,* mais en exagérant une ou deux de leurs dimensions que l'échelle de la carte ne permettrait pas de dessiner.

Ces signes, adoptés d'une *façon invariable* pour un type de carte déterminé, complètent la description topographique d'un terrain.

Autrefois chaque éditeur, chaque topographe, employait des signes conventionnels de son invention ou qu'il empruntait à ses prédécesseurs. Les cartes portaient, dans un angle, une note explicative, une *légende* qui les rendait intelligibles aux lecteurs.

Au commencement de notre siècle, on sentit la nécessité de faire cesser cet arbitraire, cette diversité regrettable qui rendait

la lecture des cartes très laborieuse, et le gouvernement français ordonna, le 15 septembre 1802, la formation d'une commission, composée d'un membre de chacun des services publics intéressés dans la question, ayant pour mission de simplifier et de rendre uniformes les teintes et les signes conventionnels des cartes.

La commission fit exécuter les signes qu'elle avait adoptés par d'habiles artistes, l'usage s'en répandit bientôt en France et dans les pays voisins.

Une seconde commission française, réunie en 1828, compléta les décisions de la première.

Les signes conventionnels français étaient admirablement choisis et supérieurement exécutés; aussi, presque tous les gouvernements, entre autres le gouvernement belge, les adoptèrent-ils sans grands changements.

Il faut connaître l'alphabet pour lire un livre : il est de toute nécessité de connaître les signes conventionnels pour pouvoir lire une carte.

Mais, de même qu'on ne parvient à lire *couramment* dans un livre qu'après de nombreux exercices de lecture, de même on n'arrive à lire *rapidement* et *sûrement* une carte qu'en se livrant à de nombreux exercices de lecture de cartes, chez soi et sur le terrain. Le talent de lire couramment les cartes se perd bientôt si on ne l'entretient par une pratique continuelle.

La mémoire n'est généralement pas assez puissante pour retenir tous les signes conventionnels : pratiquement, il suffit de connaître à fond les signes dont on se sert le plus souvent et de pouvoir deviner la signification de ceux qui se présentent plus rarement.

(Voir et apprendre les signes conventionnels adoptés pour la carte au 40.000^e, *Tableau d'assemblage*. Quelques généralités et figures au tableau.)

Un des meilleurs exercices pour retenir les signes conventionnels, c'est de les dessiner : on les dessinera dans les cahiers de notes.

Les élèves devront savoir lire, *à première vue*, tous les signes dont il est fait usage sur la planchette d'Uccle et sur la feuille de

Bruxelles. Des problèmes sur la lecture des cartes seront posés à toutes les interrogations, aux examens et pendant les exercices sur le terrain.

Les voies de communication ayant une importance militaire capitale, voici quelques considérations concernant les signes conventionnels qui les représentent et quelques définitions des figures géométriques principales que forment leurs tracés.

Une route, un chemin ou un chemin de fer est *encaissé, en tranchée* ou *en déblai* lorsque son niveau est en contre-bas des terrains voisins; si, au contraire, la route et le chemin de fer sont établis sur des terres rapportées, sont plus élevés que les terrains voisins, on dit qu'ils sont *en remblai* ou que la route est *en chaussée.*

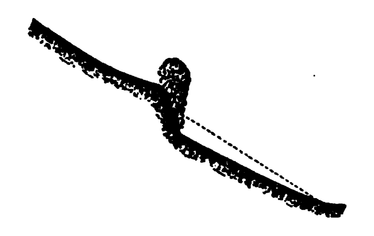
Une route *construite* en zigzag sur un versant, pour diminuer en louvoyant la pente qui serait trop rapide si l'on voulait gagner directement le sommet d'une montagne, d'un plateau ou d'une croupe, est parfois en déblai d'un côté, à niveau ou en remblai de l'autre : la route est alors *à flanc de coteau* ou *en corniche.*

Si un terrain change *brusquement* de niveau la surface fortement inclinée, le *talus* qui raccorde la partie du sol la plus basse à la partie la plus élevée porte le nom *d'arrachement de terrain* [1].

Le *talus* des remblais, des déblais, des arrachements de terrain, etc., tous les talus s'expriment par des hachures tracées suivant la ligne de leur plus grande pente (perpendiculairement à leur direction).

---

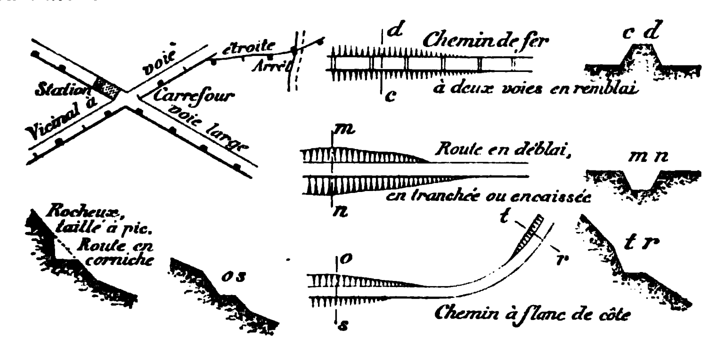
[1] Jadis beaucoup plus de champs qu'aujourd'hui étaient clôturés par des haies fort épaisses; dans les terrains en pente, ces haies arrêtaient les terres qu'entraînent les eaux pluviales, le niveau du sol s'élevait donc progressivement du côté des lignes de faîte; du côté des vallées, au contraire, à partir du pied des haies, les terres étaient entraînées naturellement vers les thalwegs par les pluies et le niveau du sol s'abaissait continuellement; de là, formation de talus que les haies soutenaient.



Ces hachures ont la forme d'un triangle très allongé dont la base est du côté le plus élevé du talus.

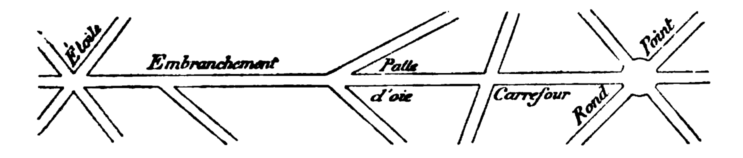
Les bases des triangles hachures, en se soudant, déterminent une *ligne continue* qui révèle immédiatement au lecteur de quel côté le talus est le plus élevé.

Les pointes des hachures marquent le pied du talus. — C'est une intersection de surfaces moins bien définie par le dessin, comme elle est du reste moins nettement marquée dans la nature.



Ces remarques sur les hachures sont importantes, parce que bien souvent sur les cartes les triangles se réduisent à de simples traits; la ligne continue indiquera le haut du talus et les pointes des hachures le pied du talus.

Un chemin naturel, en terrain incliné, n'est jamais en chaussée, il est *toujours encaissé,* en déblai, *creux,* car il est raviné, creusé par les eaux pluviales.



Un *carrefour* est le point de croisement de deux ou plusieurs routes ou chemins.

Un *rondpoint* est un carrefour formant place circulaire de grande dimension.

Si les angles formés par plusieurs chemins en un même point sont égaux deux à deux, le point prend le nom d'étoile. Les étoiles se rencontrent généralement dans les forêts et les grands parcs (Voir Parc de Tervueren, feuille de Bruxelles).

Une *patte d'oie* est l'endroit où une seule route se ramifie en plusieurs autres.

Un *embranchement* ou *bifurcation* est le point où *deux* routes, deux lignes de chemin de fer se séparent ou se réunissent.

Un *passage à niveau* est le croisement, au niveau du sol, ou tout au moins au même niveau, d'une route et d'un chemin de fer.

Un *pont* est une construction en pierre, en fer ou en charpente jetée sur une rivière, un canal, un fossé, etc., pour le traverser.

Pratiquement, les signes conventionnels, exécutés à une échelle très petite, sont généralement insuffisants pour indiquer la nature des ponts; il sera toujours nécessaire de les faire reconnaître d'une façon toute spéciale (Voir *Reconnaissances topographiques militaires*, 4e partie).

Pont et viaduc sont synonymes, cependant nos cartes officielles désignent spécialement sous le nom de *viaduc* le pont jeté *au-dessus* d'un chemin de fer en déblai pour livrer passage à une route ou à un chemin.

Pour éviter tout quiproquo, on fera bien, dans un rapport, d'employer les expressions pont ou viaduc *au-dessus* du chemin de fer, pont *sous* le chemin de fer. Ou bien on en dessinera un croquis.

Un *ponceau* est un pont d'une seule arche jeté sur un ruisseau.

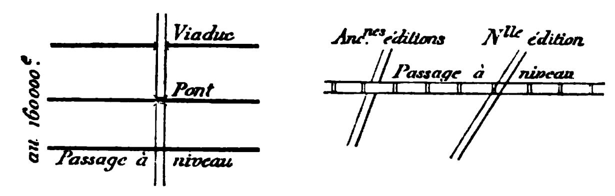
Une *passerelle* est un pont ou viaduc étroit construit pour livrer passage aux piétons seulement.

Si le chemin de fer passe au-dessus de la route, si c'est un pont, le tracé de la route est interrompu au croisement.

Si la route passe au-dessus du chemin de fer, si c'est un viaduc, le tracé du chemin de fer est interrompu.

Dans les deux cas, les ailes des culées ou des garde-fous du pont ou du viaduc sont représentés par quatre petits traits suivant la bissectrice des angles formés par les deux voies de communication.

Dans un passage à niveau, le tracé de la route et celui du chemin de fer devraient se traverser sans interruption. Il n'en est pas ainsi sur nos cartes gravées : les routes et les chemins, aux passages à niveau, sont interrompus à la voie ferrée.



On reconnaît immédiatement qu'on a sous les yeux un passage à niveau en s'assurant de ce qu'il n'y a ni remblais, ni déblais, ni traits conventionnels au point de croisement. Il peut arriver cependant que la voie ferrée et la route soient toutes les deux en remblai ou toutes les deux en déblai et soient au même niveau au point où elles se croisent, c'est là une exception.

Divers exemples pour démontrer qu'il est souvent nécessaire, pour ne pas se tromper, d'avoir recours à ces trois caractères (Feuille de Bruxelles).

Dans les nouvelles éditions, lorsqu'il y a passage à niveau, les routes et les chemins ne sont pas interrompus aux points où ils traversent les voies ferrées.

Chemin vicinal signifie chemin qui sert de moyen de communication entre villages : nos cartes donnent le nom de chemins vicinaux aux chemins de l'espèce qui ne sont ni pavés ni empierrés. Cette restriction peut donner lieu à confusion : on fera donc bien d'employer les expressions chemin pavé ou empierré, chemin de terre ou chemin non pavé, non empierré.

La dénomination de chemin d'exploitation est attribuée aux chemins privés, réservés exclusivement aux transports agricoles. Ces chemins n'ont généralement pas de débouché, ce sont des impasses, des culs-de-sac, dans lesquels on doit éviter de s'engager sans les avoir reconnus.

Carte au 20.000e.

Les élèves font une épure des teintes et des signes conventionnels adoptés pour le 20.000e, d'après le tableau

officiel de l'Institut cartographique militaire. (Prix : 1 franc à l'Inst. cart. mil.)

Pour les éditions en noir, les signes conventionnels, à part les dimensions, sont les mêmes que pour la carte au 40.000e. La dernière édition est topogravée.

Les premières éditions en couleurs sont chromolithographiées, la dernière édition est obtenue par l'*addition de couleurs* sur le type noir topogravé.

Les eaux sont en bleu, les routes et les chemins pavés ou empierrés en rouge, les voies ferrées et les chemins de terre en noir, les bois en vert, les prairies et les vergers en vert-jaune, les jardins en rose, les terres cultivées en bistre très clair; pour l'édition topogravée, les courbes de niveau sont en noir, ainsi que tout ce qui est *bâtiments*, tandis que sur les cartes chromolithographiées les bâtiments sont en rouge et les courbes tantôt en noir, tantôt en bistre.

L'édition topogravée est fort réussie, le trait est très net et les couleurs, obtenues au moyen de grisés au lieu de teintes plates, sont fort belles; cette édition a été imprimée après une revision complète sur le terrain : on peut lui accorder toute confiance.

Pour plus de renseignements, consultez la *Notice sur les cartes, documents et objets* exposés en 1894, à Anvers. Inst. cart. mil. Bruxelles, F. Hayez, 1894.

Écritures.

Les écritures sur une carte se font de gauche à droite suivant les parallèles; en d'autres termes, les mots, dans le sens de leur longueur, sont orientés de l'Ouest à l'Est.

Les noms des villes sont imprimés en capitales droites, les noms des villages en romaines droites, ceux des hameaux en romaines penchées, enfin les lettres italiques sont réservées pour les fermes, moulins, cabarets, etc. Souvent on a recours à des abréviations dont la signification se devine facilement.

Les écritures donnant la dénomination des fleuves, rivières, ruisseaux, canaux, routes, chemins, voies ferrées, etc., font

exception à la règle générale, elles suivent la direction des voies qu'elles désignent.

Signes conventionnels troupes.

Voir les *Instructions complémentaires au règlement provisoire sur le service de campagne,* V, *signes conventionnels,* 1894. Ces instructions renferment un « tableau des signes conventionnels pour la carte au 40.000ᵉ. » Voir également le cours d'*Art militaire.*

Mesure d'un itinéraire.

Si la route est en ligne droite, on en prend la longueur au moyen d'un compas, du double décimètre, d'une bande de papier, d'un fil, d'une tige de graminée ou d'un brin de paille, et on la porte sur l'échelle comme on l'a fait pour la mesure des distances à vol d'oiseau (voir échelles, page 28). On ne tient pas compte de l'allongement occasionné par les pentes, la correction à faire est insignifiante quand on mesure un parcours sur une route carrossable.

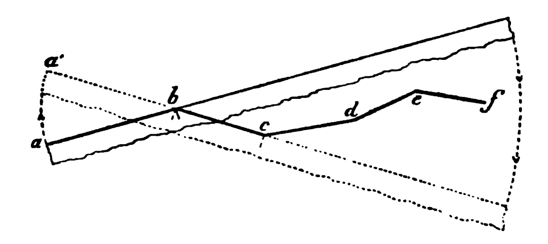
Si la route fait des détours, il faut commencer par en développer les éléments en ligne droite, puis porter ce développement sur l'échelle.

On peut se servir des mêmes instruments que dans le cas précédent.

Compas. — C'est l'instrument qui donne le résultat le plus exact.

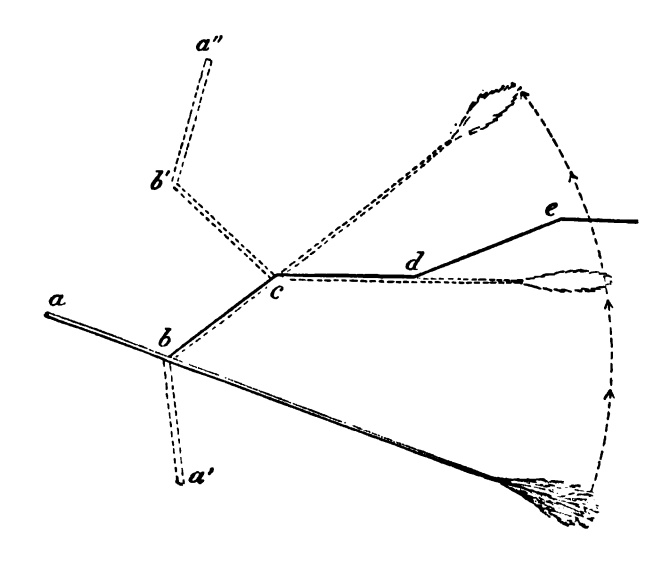
On place les pointes sur les extrémités *a* et *b* du premier tronçon en ligne droite, puis on fait tourner la pointe *a* autour de *b* comme centre jusqu'à ce que, à vue, elle soit en *a'* dans le prolongement de *cb*; appuyant alors sur la pointe *a'*, on augmente l'angle des branches jusqu'à ce que la pointe qui était en *b* arrive en *c*, et ainsi de suite.

Bande de papier. — Procédé analogue (voir la figure). Cette méthode est facile, suffisamment exacte et pratique.



Double décimètre. — On mesure chacun des tronçons et on les additionne, ou bien on procède comme avec la bande de papier.

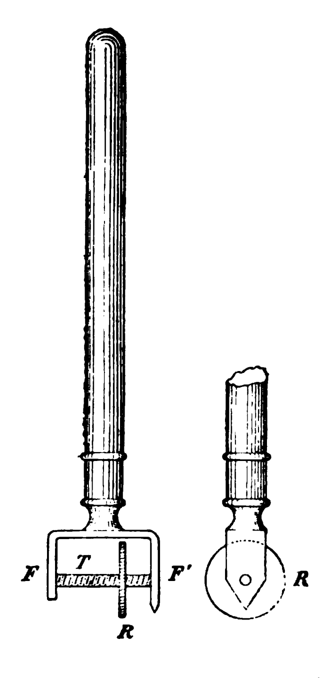
Fil. — On emploie le fil comme la bande de papier en appuyant avec le doigt sur le point qui doit rester fixe. Cela demande des précautions infinies : ce procédé est peu exact et peu pratique. Si l'on ne craint pas de gâter la carte, on pique des épingles à tous les changements de direction et, attachant le fil au point de départ, on le place sur l'itinéraire en le tendant



sur toutes les épingles. C'est plus précis, mais on endommage le papier; il faut de plus que la carte soit sur une table pour que les épingles offrent assez de résistance.

Une tige de ***graminée*** que l'on plie à l'extrémité de chaque tronçon (voir figure page 58) est une méthode que l'on emploie à défaut d'autres moyens plus exacts. Ce procédé n'est pas à dédaigner et fournit un résultat suffisant dans des moments de presse sur le terrain : il a le mérite d'être toujours sous la main de celui qui veut s'en servir.

Curvimètres. — Il existe un grand nombre d'instruments servant à mesurer des contours mixtilignes; le plus simple et en somme le plus pratique, se compose d'une roulette dentée R, mobile sur une traverse T à pas de vis, soutenue à chaque extrémité par les dents d'une fourche métallique FF′ munie d'un manche en bois qui sert à diriger l'instrument.



Pour mesurer un itinéraire, on commence par amener la roulette du curvimètre en contact avec une des dents de la fourche en la faisant tourner sur la traverse filetée qui passe par son centre, puis on lui fait décrire, avec beaucoup de soin et en tenant le manche verticalement, toutes les sinuosités de la ligne. Pendant cette opération, la roue en tournant s'écarte peu à peu de la dent contre laquelle elle s'appuyait. Le trajet terminé, si l'on place la roulette sur l'échelle et si on la fait tourner en sens inverse à partir du zéro, elle décrira une ligne droite ayant précisément la longueur de la ligne sinueuse de l'itinéraire dont on lira la longueur sur l'échelle au point où la roulette cessera de tourner.

Si l'échelle était plus petite que l'itinéraire à mesurer, on reviendrait au zéro autant de fois qu'il serait nécessaire et on ferait une addition.

Il existe des curvimètres qui, au moyen de vis micrométriques ou d'un système de roues dentées et graduées, donnent immédiatement la distance qu'on lit sur une tige, sur une roue ou sur un ou deux cadrans (voir les spécimens).

Si l'on se sert d'un de ces derniers instruments, il est élémentaire d'en vérifier au préalable l'exactitude. Cette vérification est du reste des plus simples : après avoir placé le curvimètre à zéro, on fait parcourir à la roue une partie de l'échelle de la carte et l'on examine si le chiffre donné par le curvimètre est bien celui de la division de l'échelle à laquelle on s'est arrêté.

Orientation.

Orienter une carte, c'est lui faire prendre une position telle qu'un méridien, tracé sur cette carte par le point qui représente le lieu où l'on se trouve, soit dans le plan vertical contenant le méridien de ce lieu sur le terrain, les pôles de même nom du méridien de la carte et du méridien du terrain étant placés symétriquement.

Pour orienter une carte il faut donc, nécessairement, pouvoir déterminer *sur le terrain* la direction du méridien du lieu où l'on se trouve.

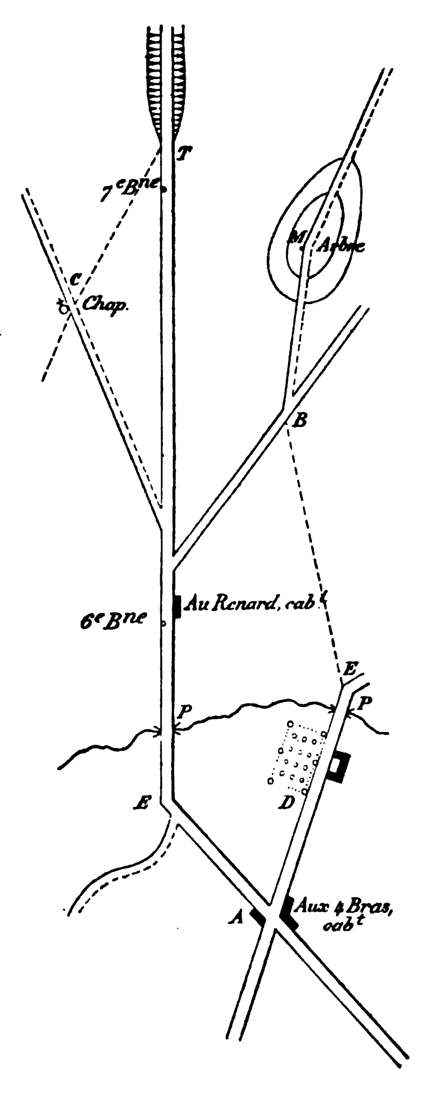
Il existe un grand nombre de procédés pour déterminer sommairement le *méridien astronomique* et par conséquent pour orienter les cartes topographiques. En voici quelques-uns :

1° *Par les données de la carte et les données homologues du terrain.* — C'est le moyen le plus simple, le plus usité, toujours à la portée de celui qui veut l'employer et partant le plus pratique.

Une carte étant une figure semblable à la figure géométrique que forment les lignes du terrain, les directions tracées sur la carte font, avec les méridiens que l'on pourrait construire en chaque point du dessin, les mêmes angles que les directions

homologues du terrain font avec les méridiens astronomiques aux mêmes points.

Il en résulte que si l'on place un point de la carte dans la verticale de son homologue du terrain et une ligne du dessin passant par ce point dans le plan vertical contenant la ligne homologue du terrain, le méridien de la carte en ce point sera dans le plan du méridien astronomique du lieu. *La carte sera donc orientée.*



Exemple. — On se trouve sur une grand'-route, près d'une borne kilométrique, 6e Bo par exemple. On place le signe conventionnel de la 6e Be au dessus de la pierre cylindique ; on amène la route tracée sur la carte dans la direction de la route sur le terrain et de plus disposée de telle façon que le signe conventionnel 7e Be soit tourné vers la 7e borne, chose que l'on vérifie en examinant si les détails dans le voisinage du point de station sont symétriquement disposés par rapport à la route

naturelle et à son tracé sur la carte [1]. La carte est dès lors orientée.

Il n'est évidemment pas nécessaire de se placer au-dessus d'une borne kilométrique, tout point *bien déterminé*, sur la carte et sur le terrain, à l'extrémité d'une direction bien déterminée également, convient pour cette opération.

L'essentiel donc, c'est de déterminer d'abord exactement sur la carte le point du terrain où l'on se trouve.

On examine pour cela l'itinéraire que l'on a parcouru, depuis son origine ou depuis la dernière station bien reconnue, en passant en revue les détails que l'on a aperçus à droite et à gauche de la route en cheminant, et l'on arrive sur la carte au point où l'on se trouve; quand on croit avoir bien déterminé ce point, on s'assure avec soin de ce que les détails représentés sur la carte à proximité de l'endroit où l'on stationne sont bien ceux que l'on voit matériellement autour de soi.

Développements. — Exemples tirés de la feuille de Bruxelles et de la planchette d'Uccle. Cette petite opération est d'une application continuelle dans les marches.

Pour orienter une carte, on s'arrête de préférence en un point remarquable du terrain et par conséquent facile à déterminer sur la carte. On choisit le carrefour A; l'embranchement B d'un chemin de terre sur un chemin pavé; le point de croisement C d'un chemin de terre et d'un sentier, près d'une chapelle; le coude E d'une route ou d'un chemin; l'entrée T d'une tranchée; le voisinage d'un arbre isolé, d'un poteau indicateur, d'une borne kilométrique, d'un cabaret désigné, d'une ferme, d'un moulin, d'un ponceau P, etc.; l'angle d'un bois, d'un verger D; un mamelon M; etc.

---

[1] Remarque. — On reconnaît, dans l'exemple choisi, que l'on n'a pas dirigé le tracé de la route en sens inverse de la direction de la route naturelle, qu'on n'a pas pris par conséquent le Sud pour le Nord, à cette particularité que le cabaret « Au Renard » *est à droite sur la carte et sur la route* quand l'observateur fait face à la borne 7.

Cette remarque peut paraître puérile : l'expérience nous a prouvé qu'elle est pratique.



On oriente parfaitement une carte en piquant une épingle au point de station, une seconde épingle sur le signe conventionnel représentant un objet très éloigné visible à l'horizon, puis en visant cet objet suivant l'alignement déterminé par les deux épingles.

Il importe que l'objet choisi à l'horizon soit bien reconnu : ce sera un clocher, une tourelle de château, une chapelle en pleine campagne, un arbre isolé renseigné sur la carte [1], une cheminée de fabrique, etc.

Si l'on n'a pas d'épingles, on place l'ongle d'un pouce au point de station, l'ongle de l'autre pouce au signal reconnu et l'on vise tangentiellement aux deux ongles.

Plus les lignes dont on se servira pour orienter la carte seront longues, plus l'opération présentera de garanties.

Il arrivera que les chemins seront sinueux, encaissés; que l'horizon visuel sera très limité, que les détails auront peu de profondeur : on cherchera à tirer le meilleur parti possible des circonstances qui se présenteront.

On pourra se trouver en dehors des voies de communication, dans des plaines de sable, des bruyères..., etc. : si l'on n'a pas de boussole ou d'autres moyens de s'orienter, on tâchera de découvrir au loin quelque repère dont on se servira comme il a été indiqué plus haut, on utilisera l'expression du relief (voir plus loin).

Problème. — La Cambre figure sur la planchette d'Uccle : orienter cette planchette 1° dans la salle d'études en se servant des murs; 2° dans la cour de l'étang ou celle de l'école d'application.

2° *Par le déclinatoire ou une boussole de poche.* — Le déclinatoire est une simple boîte rectangulaire au centre de laquelle est fixé un pivot sur lequel repose, au moyen d'une chape en agate, une aiguille aimantée; deux portions de limbe permettent de mesurer les déplacements angulaires des pointes.

---

[1] Arbre de *Dieligheim* (arbre Ferraris), au Nord-Ouest de Jette-St-Pierre. Feuille de Bruxelles.



L'aiguille aimantée donne la direction du méridien magnétique, qui fait, avec le méridien astronomique, un angle variable appelé déviation ou *déclinaison magnétique* (voir 2e partie).

Cet angle varie très peu en un an (voir la théorie de la boussole-éclimètre pour plus de développement). Il suffit de savoir, pour le moment, que cette déclinaison magnétique est aujourd'hui de 15° environ à l'Ouest [1] et qu'on pourra pratiquement se servir de cette déclinaison pendant toute l'année.

Connaissant le méridien magnétique, il est facile d'en déduire la direction du méridien astronomique, il suffit de faire à l'Est du premier un angle de 15°.

Orientation d'une carte par le déclinatoire. — On sait que les bords du cadre perpendiculaires aux écritures peuvent être considérés comme des méridiens de la carte [2]; de vrais méridiens sont, du reste, tracés de 5 en 5 minutes à travers la planimétrie (sur les feuilles au 40.000e).

On place le bord de la boîte du déclinatoire, parallèle à l'indication S.-N., le long d'un méridien ou du bord méridien du cadre; on fait tourner la *carte* sur le plan d'une table jusqu'à ce que la pointe bleue de l'aiguille, qui donne le nord magnétique, s'arrête à 15° à gauche de la lettre N : la carte est dès lors orientée.

La boussole de poche a la forme d'une petite montre au centre de laquelle se meut une aiguille aimantée; les pointes de l'aiguille parcourent les degrés d'un limbe entier.

On opère comme avec le déclinatoire : on place le diamètre initial S. N. dans le plan d'un méridien de la carte et l'on fait tourner celle-ci jusqu'à ce que la pointe bleue vienne à 15° à gauche (à l'Ouest) de N.

3° *Par les hauteurs d'un astre au-dessus de l'horizon.* — Cette méthode demande trop de temps pour être applicable à

---

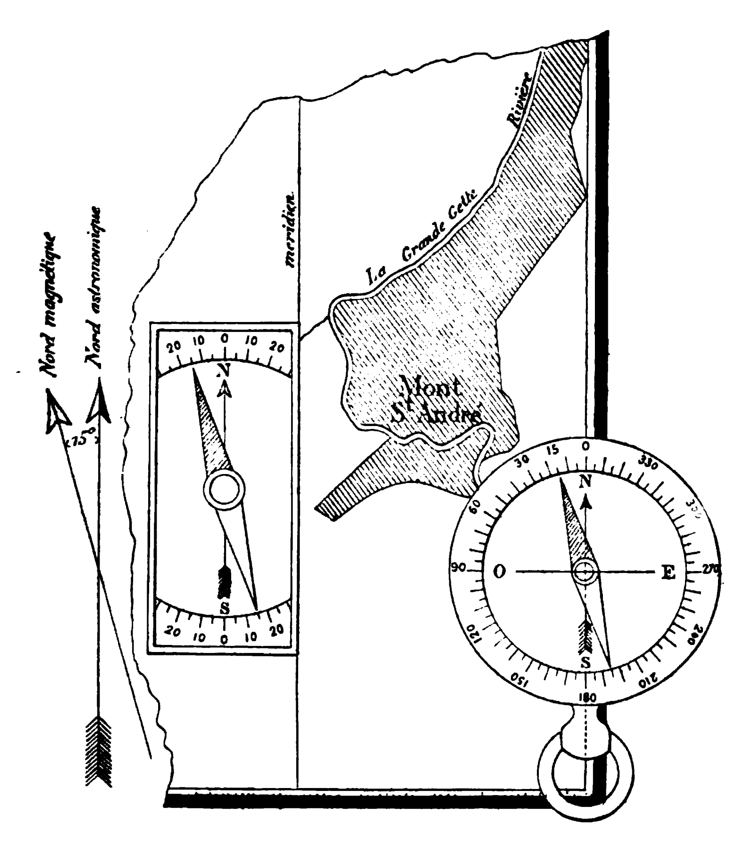
[1] Les journaux publient chaque jour le Bulletin de l'Observatoire. On lit dans le bulletin du 14 mars 1892 : déclinaison magnétique, à midi, à Uccle, 15°1'25″ W.; dans celui du 15 juin 1895, 14°45'1″ W.

[2] En Belgique.



l'orientation des cartes : nous en parlerons à propos du tracé de la méridienne dans un levé régulier. Voir le *Cours d'Astronomie.*

Voici pourtant un procédé qui, employé avec précaution, conduit à une détermination de la méridienne suffisante dans bien

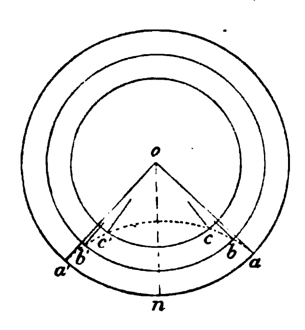


des cas ; le moyen demande trop de temps, comme on le constatera, pour être utilisé à l'orientation des cartes.

On met à profit les rayons du soleil.

On trace sur un plan horizontal (une table ou un terrain uni), plusieurs cercles concentriques ; on plante au centre *o* de ces cercles une tige verticale (une longue aiguille ou un jalon). On

observe avant midi les instants précis où l'extrémité de l'ombre portée par la tige vient en contact avec chacune des circonférences, on marque les points de contact *a*, *b*, *c*; on répète après midi la même opération, on marque les points *c'*, *b'*, *a'*. La déclinaison du soleil variant très peu dans l'intervalle de quelques heures, on peut admettre que tout est symétrique par rapport au méridien et que par conséquent la méridienne est la bissectrice commune des angles *aoa'*, *bob'*, *coc'*, c'est-à-dire *on*.



Une seule observation suffirait à la rigueur, mais il est bon d'en faire au moins trois comme vérification; on prend en pratique la direction moyenne des trois bissectrices qui, théoriquement, devraient se confondre en une seule *on*.

4° *Par le soleil et une montre.* — Le soleil est à l'Est vers 6 heures du matin[1], au Sud à midi, à l'Ouest vers 6 heures du soir.

Le soleil, dans son mouvement apparent autour de la terre, décrit les 360° d'une circonférence en vingt-quatre heures : en une heure, il se déplace donc de 15° [2].

Si l'on plante verticalement un jalon, les ombres portées par ce jalon, à une heure d'intervalle, feront entre elles un angle de 15° environ.

Il est 8 heures du matin : à 6 heures, l'ombre portée donnait la direction Est-Ouest [3]; à 8 heures, l'ombre portée fait avec celle de 6 heures un angle de $2 \times 15 = 30°$.

On veut avoir par l'ombre de 8 heures la direction Sud-Nord, la méridienne : on élève une perpendiculaire OP à

---

[1] On dit souvent que le soleil se lève à l'Est, c'est inexact : l'heure du lever du soleil et le point où il apparaît à l'horizon varient chaque jour, il est moins inexact de dire que vers 6 heures il est à l'Est. Même remarque pour le coucher.

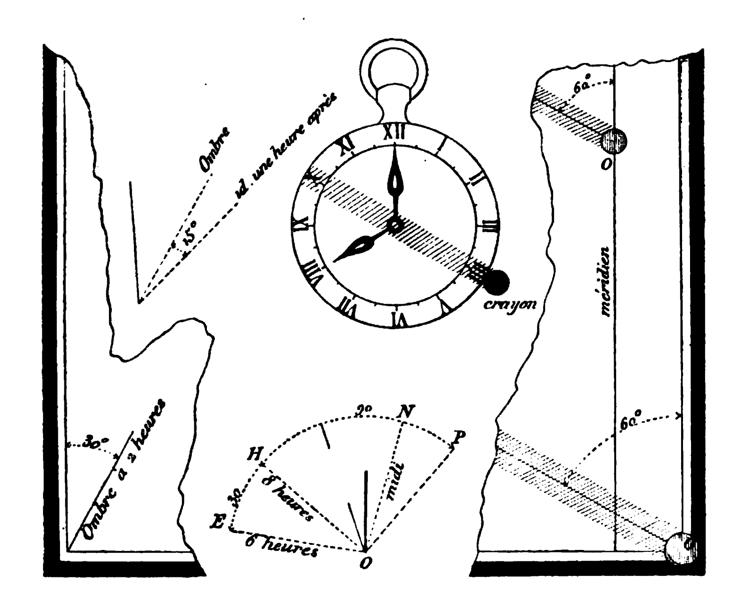
[2] Voir le problème *f*, page .

[3] Cela n'est rigoureusement vrai qu'aux équinoxes.

l'ombre OH, on divise l'angle POH en trois parties égales; ON sera la méridienne, la direction que prendra l'ombre à midi.

On peut se servir d'une montre comme d'un limbe gradué. Il s'agit de faire un angle de 60° avec l'ombre de 8 heures : on place un crayon vis-à-vis de IV heures ou au centre du cadran, on amène l'ombre sur X heures en faisant tourner la montre; la grande aiguille, qui est sur XII heures, donne la direction du Nord.

Autre manière d'opérer, moins exacte, mais plus rapide : l'opérateur tient sa montre horizontalement et la tourne de



façon que la petite aiguille soit dans la direction de l'ombre qu'il porte lui-même sur le sol; la *bissectrice* de l'angle formé par la petite aiguille et le rayon aboutissant à la division XII du cadran (midi) donne alors la direction du Nord.

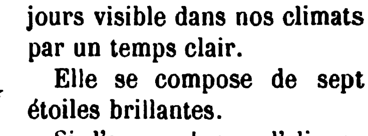
Depuis le 1er mai 1892, il faut tenir compte du changement apporté dans les heures officielles par l'adoption de l'heure du méridien de Greenwich : nos montres marquent 12 heures à

12 heures 17′; l'ombre méridienne est l'ombre portée à 11 heures 43′, abstraction faite de l'équation du temps.

Orientation par la carte et le soleil à 8 heures du matin : en un point d'un méridien, ou d'un bord du cadre méridien, on construit un angle de 60° à gauche de la direction Sud-Nord ; on amène l'ombre d'un style (d'un crayon), placé verticalement au sommet de l'angle O, sur le côté construit ; la carte est orientée [1].

Les bords du cadre forment entre eux des angles droits ; il n'est pas difficile de diviser à vue un angle droit en 2, 3, 6 ou 12 parties égales ; on se servira donc avantageusement des sommets des angles ***inférieurs*** du cadre ; de l'angle inférieur Est le matin et de l'angle inférieur Ouest l'après-midi. Voyez la figure.

5° *Par l'étoile polaire.* — Tout le monde connaît la *Grande Ourse* (grand chariot, chariot de David), belle constellation toujours visible dans nos climats par un temps clair.



Elle se compose de sept étoiles brillantes.

Si l'on prolonge l'alignement des deux étoiles *a* et *b* d'environ 5 fois *ab*, cet alignement passe tout près d'une étoile, brillante aussi et se détachant bien dans le ciel, formant l'extrémité de la queue de la *Petite Ourse* (petit chariot). Cette étoile est l'étoile polaire, qui n'est jamais à plus de 1 ½ degré du pôle et donne par conséquent la direction du Nord.

Quand on croit avoir trouvé l'étoile polaire, on vérifie l'opération au moyen de la Petite Ourse, constellation semblable à la Grande Ourse, mais plus petite, disposée en sens inverse et dont les étoiles ne sont pas de première grandeur.

Il faut savoir à peu près le point du ciel où se trouve la Petite Ourse pour la découvrir. C'est pourquoi on cherche d'abord la Grande Ourse.

---

[1] Réciproquement, on peut déterminer l'heure au moyen de la carte et du soleil. Voir page 92, problème *f*.

Pour orienter la carte, on dirige le bord méridien vers l'étoile polaire.

Pour tracer approximativement la méridienne sur le terrain au moyen de l'étoile polaire, on opère avec un aide porteur d'une lanterne. L'aide se porte dans la direction du Nord, à 10, 20, 30, 50 mètres de l'opérateur auquel il fait face. L'opérateur tient un fil à plomb de la main droite, le plus éloigné possible du corps et dans la direction de l'étoile polaire; puis il ferme l'œil gauche et amène son œil droit dans le plan passant par le fil et l'étoile; il crie alors à l'aide de se déplacer à droite ou à gauche jusqu'à ce que la lanterne vienne dans le plan passant par l'étoile et le fil. L'aide plante un jalon devant la lanterne et l'opérateur un jalon au point où tombe le fil à plomb lorsqu'il le lâche.

Pour tracer *exactement la méridienne* sur le terrain au moyen de la polaire, voir le *Cours d'Astronomie*.

6° *Par la lune*. — La lune donne un excellent moyen de s'orienter *approximativement* la nuit, à défaut de l'étoile polaire que notre ciel brumeux dérobe si souvent à nos regards.

Le soleil et la lune *semblent* tourner autour de la terre et accomplir une rotation complète, le soleil en 24 heures, la lune en un peu moins de 25 heures.

Si l'on observe deux passages successifs au méridien de la lune et du soleil, on remarque donc que la lune *paraît retarder* sur le soleil.

Si l'on prend le moment où la terre, la lune et le soleil sont dans un même plan vertical, celui du méridien, la lune entre le soleil et la terre, on a ce qu'on appelle la *nouvelle lune*. Le soleil et la lune passent ensemble au méridien à midi à la nouvelle lune [1].

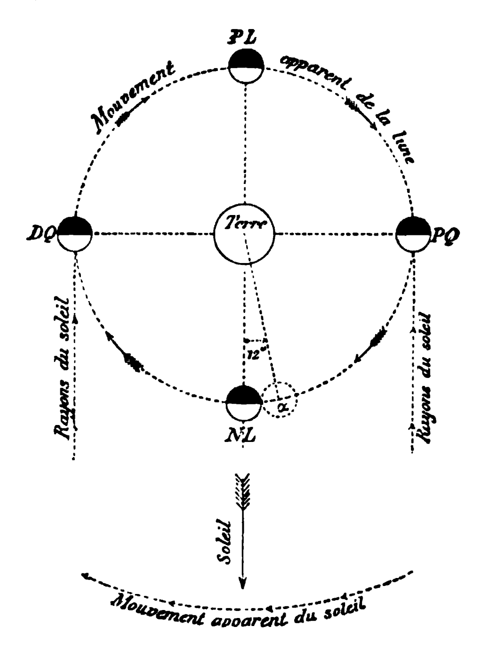
A la nouvelle lune on ne voit donc pas la lune dont la partie

---

[1] Cela n'est pas absolument exact, la nouvelle lune ne commence qu'exceptionnellement à midi : nous ne faisons pas de l'astronomie, mais de l'orientation pratique. En prenant la lune pour guide comme nous le dirons, on se trompera souvent de 15 degrés, parfois de 30 degrés, tandis que sans guide d'aucune sorte la nuit, il ne sera pas étonnant que l'on se trompe de 180.



éclairée est du côté du soleil (du côté opposé à la terre), à moins que le soleil, la lune et la terre ne soient en ligne droite, circonstance exceptionnelle qui amène une éclipse partielle du soleil par la lune.



Le lendemain de la nouvelle lune, à midi, la lune ne passe plus au méridien en même temps que le soleil, elle a marché moins vite et occupe la direction α, qui fait avec le méridien un angle de 12°; le passage de la lune au méridien a lieu environ cinquante minutes plus tard.

Ce retard se produit et s'ajoute ainsi tous les jours, de telle façon qu'au bout de 29 ½ jours il est égal à toute la circonférence, et la lune revient au méridien par une nouvelle lune *nouvelle* avec le soleil.

Le mois lunaire est de 29 ½ jours.

Pratiquement, pour s'orienter *approximativement* la nuit, on se sert des phases de la lune. Ces phases, on le sait, sont la nouvelle lune (N. L.), le premier quartier (P. Q.), la pleine lune (P. L.) et le dernier quartier (D. Q.)

A la N. L. le soleil et la lune passent, à très peu de chose près, au méridien à la même heure, *à midi*.

Au P. Q. la lune est en retard de 90° sur le soleil; elle passe au méridien 6 heures plus tard. La lune est donc à l'Est vers midi, *au Sud à six heures du soir* et à l'Ouest vers minuit.

A la P. L. la lune retarde de 180° sur le soleil. Elle passe

au méridien à minuit, elle était à l'Est vers six heures du soir et sera à l'Ouest vers six heures du matin.

Au D. Q. la lune est en retard de 270° (ou en avance de 90° en sens inverse). Elle est à l'Est à minuit et passe au *méridien à six heures du matin*.

Pour chaque jour au delà de l'une des phases de la lune, son passage au méridien est en retard d'un peu plus de 3/4 d'heure.

La forme de la lune permet d'apprécier son âge à deux jours près. La partie convexe du croissant est tournée vers le soleil, par conséquent à droite de l'observateur, de la N. L. à la P. L., et à sa gauche de la P. L. à la fin du mois lunaire.

NL	PQ	PL	DQ
●	◐	○	◑
Invisible	½ lune	lune	½ lune

On trouve les phases de la lune dans tous les calendriers de poche et les journaux reproduisent le *Bulletin de l'Observatoire* tous les jours.

Mais on peut être privé de ces documents : il suffit de retenir un chiffre pour se tirer d'affaire, le chiffre de l'épacte.

L'*épacte* [1] est l'âge de la lune au 1er janvier, ou le nombre de jours passés depuis la dernière nouvelle lune de l'année écoulée. L'épacte pour 1893 est XII.

Exemples. — 1° On a le 8 janvier 1893, on dit : 8 + 12 = 20e jour de la lune;

2° On a la date du 30 mai 1893, on calcule comme suit :

	Janvier	= 31 jours	= $29\frac{1}{2} + 1\frac{1}{2}$
	Février	= 28 id.	= $29\frac{1}{2} - 1\frac{1}{2}$
	Mars	= 31 id.	= $29\frac{1}{2} + 1\frac{1}{2}$
	Avril	= 30 id.	= $29\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$
(Le 30 mai),	Mai	= 30 id.	= $29\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$
			$5 \times 29\frac{1}{2} + 2\frac{1}{2}$

5 mois lunaires + $2\frac{1}{2}$ jours
on ajoute l'épacte 12
$14\frac{1}{2}$. La lune a $14\frac{1}{2}$ jours; on a donc la P. L.

---

1 On trouve l'épacte dans les calendriers, souvent à la fin des jours de février. Les épactes sont : pour 1893 = XII. 1894 = XXIII, 1895 = IV.



En général, connaissant l'âge de la lune au 1er janvier d'une année, on aura l'âge de la lune au 1er janvier de l'année suivante, en ajoutant 11 jours au premier de ces deux âges.

Quand l'année n'est pas bissextile, l'âge de la lune est le même au 1er mars qu'au 1er janvier; à partir d'avril on compte donc du 1er mars.

Les années bissextiles reviennent tous les quatre ans, mais par exception, 1900 ne sera pas bissextile.

Exemple pratique : Nous avons le 29 mai 1895 et le 5e jour de la lune. — La lune retarde de $5 \times \frac{3}{4} = 4$ heures environ sur la N. L. : la lune passera au méridien vers 4 heures après-midi et sera à l'ouest vers 10 heures du soir.

L'orientation *approximative* par la lune peut rendre d'excellents services, elle est moins compliquée qu'elle le paraît; il suffit de faire le soir quelques exercices pratiques pour se la rendre très familière.

7° *Le chœur* des vieilles églises est souvent tourné vers l'Orient (Jérusalem) : c'est là un moyen de s'orienter fort aléatoire.

8° *Les girouettes* sur les châteaux, maisons de campagne, pavillons de chasse, donnent souvent les quatre points cardinaux : il ne faut se fier qu'avec prudence à ces indications.

9° *La mousse* sur les arbres, indication donnée par des auteurs et des règlements, est un moyen détestable : une foule de circonstances locales modifient la direction dans laquelle la mousse se développe, puis il y a des mousses de différentes espèces ne choisissant absolument pas la même exposition.

10° *L'inclinaison générale des arbres* vaut mieux, dans la partie basse de la Belgique. Les vents forts aux époques pluvieuses, lorsque le sol est peu résistant, venant du S.-O., les arbres s'inclinent naturellement vers le N.-E.

11° *On n'hésitera* pas un seul instant, en cas de doute, à s'adresser aux habitants; on leur demandera où se lève le soleil, où il se couche, dans quelle direction il se trouve au moment du dîner. On interrogera plusieurs habitants, à proximité de leur maison, sinon les renseignements obtenus n'auront pas grande valeur.

Les 7°, 8°, 9°, 10° et 11° ne seront employés que si l'on n'a pas de carte topographique, naturellement.



Boussole phosphorescente. — La puissance des armes à feu ayant atteint un degré inouï, on cherchera très probablement, dans les guerres futures, à s'approcher de l'adversaire à la faveur des ombres de la nuit. On livrera des combats de nuit.

Les marches dans les ténèbres et à travers champs ne pourront avoir d'autres guides que la lune, les étoiles et surtout la boussole.

Les Russes s'exercent particulièrement aux marches de nuit. Voici ce que dit à ce propos *l'Invalide* (journal militaire de Saint-Pétersbourg) :

« Pour exercer les troupes à s'orienter la nuit et à conserver une direction donnée en partant de différents points très éloignés les uns des autres, on choisit, pour la concentration, un point que rien ne signale spécialement sur la carte et qui est invisible en dehors d'un certain rayon du terrain. Malgré l'obscurité et la pénurie des voies de communication, on n'a jamais constaté que les troupes se soient égarées ou dispersées; elles sont au contraire toujours arrivées au point de réunion à l'heure fixée en se servant de boussoles lumineuses. »

Ces boussoles lumineuses sont distribuées à raison d'une par compagnie (leur prix est d'environ 10 francs).

« L'orientation doit être chose familière à la patrouille : tant » mieux si elle dispose d'une boussole, mais elle doit s'habituer » à se servir de moyens qui ne font jamais défaut, tels que le » soleil, l'étoile polaire, etc. » (Inst. tactique de la troupe, Russie, 1894).

Expression du relief.

Une carte topographique doit faire connaître le relief, c'est-à-dire les formes, les ondulations, les mouvements, les accidents du terrain.

Le relief en Belgique est exprimé au moyen de courbes horizontales équidistantes, qu'on nomme aussi courbes de niveau et courbes hypsométriques. Dans d'autres pays, le relief est exprimé par des hachures.

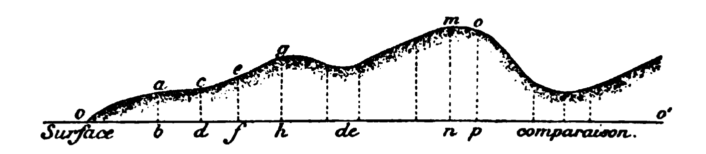
Une courbe hypsométrique est le lieu géométrique de points du terrain ayant même altitude.

Une hachure est la projection de la ligne de plus grande pente entre deux courbes hypsométriques.

Pour construire les courbes hypsométriques ou les hachures, il faut nécessairement connaître la hauteur relative des différents points de la surface du sol.

Le nivellement a pour objet de déterminer les ordonnées en mètres des points de la surface d'un terrain au-dessus d'une surface de comparaison.

Les opérations du nivellement font donc connaître les hauteurs



ab, cd, ef, gh ... *mn*, etc., ordonnées des points *a, c, e, g* ... *m* par rapport à la surface *oo'*.

Les ordonnées en topographie prennent les noms de *hauteurs*, *altitudes* ou *cotes*.

Le nom de cote s'applique indifféremment aux ordonnées par rapport à un plan *quelconque mais unique*, tandis que altitude désigne plus spécialement la cote d'un point au-dessus du niveau de la mer.

La surface de comparaison adoptée pour le nivellement de la Belgique est la surface sphérique passant par le niveau moyen des basses marées, aux vives eaux ordinaires à Ostende, à l'époque des syzygies [1]. Cette surface est inférieure de 2^{m},012 au niveau moyen de la mer à Ostende.

---

[1] A l'époque des syzygies, le soleil, la lune et la terre sont dans le plan du méridien; cela se produit deux fois à chaque lunaison : à la nouvelle lune et à la pleine lune.

A la nouvelle lune, le soleil et la lune sont en *conjonction*, c'est-à-dire d'un même côté par rapport à l'observateur placé sur la terre; à la pleine lune, le soleil et la lune sont en *opposition*, c'est-à-dire que la terre se trouve entre le soleil et la lune.

« Abstraction faite de l'influence du vent et de l'établissement du port,



Le choix du niveau des marées les plus basses a pour objet d'éviter des cotes négatives sur les cartes.

La surface de comparaison passe sous les points les plus bas du pays. — Les polders, voir le *Cours de Géographie*, sont des terrains dont le niveau est parfois plus bas que le niveau moyen de la mer.

La surface de comparaison est cotée 0, de sorte que les *cotes* inscrites sur nos cartes expriment, en mètres, l'*altitude* des points cotés.

Exemples. — Planchette d'Uccle (topogravée en 1894). A 1200 mètres au Nord de l'église d'Alsemberg, traversant la route, on trouve un mamelon exprimé par une courbe fermée, cotée 120 : tous les points de cette courbe sont à une hauteur de 120 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Feuille de Bruxelles. A 800 mètres au Sud de Wesembeek, nous lisons : *Chapelle Saint-Roch* (78,1), cela signifie que le seuil de cette chapelle est à $78^{m},1$ au-dessus du niveau de la mer.

Un nivellement général de la Belgique a servi de base aux nivellements par planchette topographique (voir 2e partie).

On a procédé, comme en planimétrie, des grandes lignes aux détails : on s'est appuyé sur un *canevas* ou *nivellement* exécuté au moyen d'instruments de précision [1].

La surface de la Belgique est couverte de *points de repères du nivellement général,* c'est-à-dire de points dont l'altitude est rigoureusement déterminée par les opérations du nivellement général.

Les cotes des principaux repères sont données avec une ou deux décimales et entre parenthèses sur les feuilles au 40.000e;

» les hautes marées sont les plus fortes (vives eaux) quand l'influence de la
» lune et du soleil s'exerce en ligne droite, c'est-à-dire les jours de nouvelle
» et de pleine lune; l'expérience prouve d'ailleurs que la mer baisse d'autant
» plus dans le reflux qu'elle s'élève dans le flux. » J. Henrionet.

[1] Les niveaux dont on fit usage pour le nivellement général de Belgique sont : 1° le niveau à plateau de Lenoir; 2° le grand niveau à fourche de Beaulieu; 3° exceptionnellement, le niveau de Brunner (voir 2e partie).



avec deux décimales et entre parenthèses sur les planchettes topogravées au 20.000e (en rouge sur d'anciennes planchettes).

Exemples. — Planchette d'Uccle : Petite-Espinette (122,71) ; feuille de Bruxelles : église de Nosseghem (51,2).

Nous avons en Belgique environ 8.500 points ou repères du nivellement général, ce qui fait, en moyenne, trois repères par commune (à la date du 15 avril 1894, il y avait en Belgique 2.603 communes).

On compte sur chaque planchette-minute (planchette manuscrite) de 3 à 4.000 points nivelés à l'*éclimètre*. Les officiers topographes se sont servis de ces points pour tracer les courbes hypsométriques exprimant le relief (voir 2e partie).

L'administration des Ponts-et-Chaussées avait fait, avant le Dépôt de la guerre, un nivellement général en prenant pour cote de départ une cote plus basse de 0m,1665 que celle qui fut adoptée en 1854 pour la construction de la carte militaire.

Si l'on voulait établir une comparaison entre les cotes des repères du Dépôt de la guerre et celles des repères des Ponts-et-Chaussées, il faudrait donc commencer par ajouter 0m,1665 aux cotes des Ponts-et-Chaussées.

Le nivellement belge est raccordé au nivellement français à Dunkerque, à Mézières et à Longwy ; au nivellement prussien, à Kaldenkirchen et à Eupen ; au nivellement hollandais, à Terneuzen et à Venloo.

Le zéro des nivellements français est au niveau moyen de la Méditerranée à Marseille, soit 1m,4055 au-dessus du zéro belge.

Les nivellements de l'ancienne Prusse orientale sont rapportés au niveau moyen de la Baltique à Swinnemunde, 2m,0877 au-dessus du zéro belge.

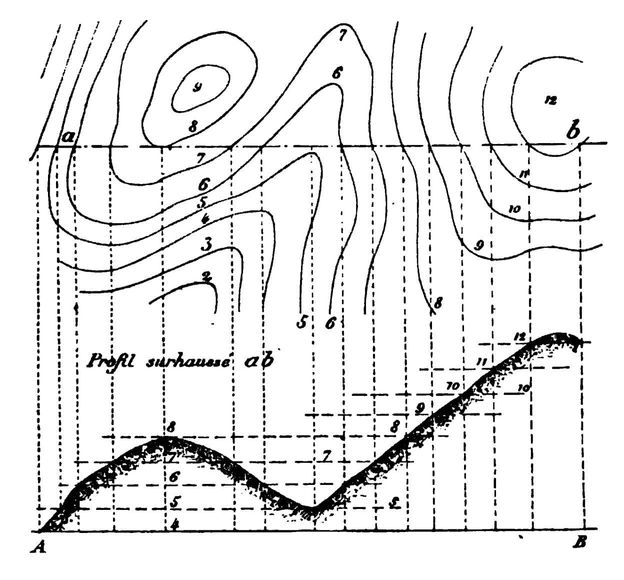
En Hollande, le plan de comparaison est le peil d'Amsterdam, 2m,1337 au-dessus de notre zéro. Le peil est une ***surface de niveau*** correspondant à la moyenne des ***mers hautes***.

En planimétrie, avons-nous vu, le figuré du terrain est obtenu par sa projection horizontale, mais on ne peut avoir recours à la projection verticale pour exprimer le relief, si l'on trace

facilement le profil [1] d'un terrain suivant une ligne déterminée OABCD ..., page 78, en construisant les ordonnées O, A*a*, B*b*, C*c*, D*d*, E*e* ... et en joignant leurs extémités *oabcde*..., on ne peut, lorsqu'il s'agit d'un terrain et non simplement d'une ligne de ce terrain, employer le même procédé, car il règnerait une con-

[1] Lorsqu'on coupe un mouvement de terrain par un plan vertical, l'intersection obtenue prend le nom de *profil*.

On projette sur AB, intersection du plan vertical avec le plan horizontal le plus bas, les points de sections des courbes de niveau, et l'on porte sur



les ordonnées les hauteurs en mètres des points projetés au-dessus du plan horizontal, puis on joint les extrémités des ordonnées.

On ne peut généralement employer l'échelle de la carte pour construire les ordonnées verticales, le relief étant très faible relativement à l'étendue du terrain : on emploie donc une échelle plus grande et l'on obtient ce que l'on appelle un *profil surhaussé*.

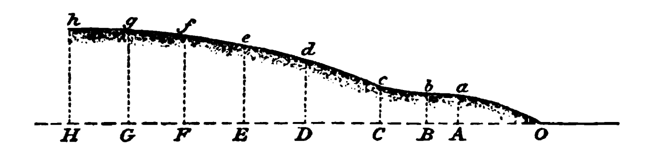
Si exceptionnellement les échelles sont les mêmes, on a un *profil naturel*.

Exercice. — Profil suivant le sentier qui va de la Petite-Espinette (10e borne de la route de Bruxelles à Charleroi) vers Rhode-Saint-Genèse·

fusion inextricable dans les points et les lignes du plan vertical de projection, la carte deviendrait illisible.

Les mouvements du sol sont, en effet, très variés et leur amplitude verticale fort restreinte relativement à leur amplitude horizontale.

La méthode des plans cotés permet d'exprimer le relief en n'employant que la projection horizontale et l'indication en chiffres des cotes des points projetés. Cependant, ce procédé offre un inconvénient. Si l'on ne projette que peu de points, on n'aura qu'une notion fort imparfaite des mouvements du sol; si l'on projette un grand nombre de points au contraire, on couvrira la carte d'un fouillis de chiffres qui la rendront confuse et illisible.



Pour tourner cette difficulté, on a recours aux *courbes de niveau* (ou courbes hypsométriques).

Une courbe de niveau unissant *tous les points* de même cote, il suffit d'inscrire une seule fois celle-ci en un point quelconque de cette courbe.

On choisit sur le tracé de la courbe de niveau un endroit bien apparent pour y inscrire le chiffre de sa cote, de façon que ce chiffre ne soit pas noyé dans les détails de la planimétrie et ne cache pas ceux-ci.

La carte est ainsi claire et complète (voir 2e partie).

Revoir les plans cotés : *Cours de géométrie descriptive.*

Étude des principaux mouvements du sol.

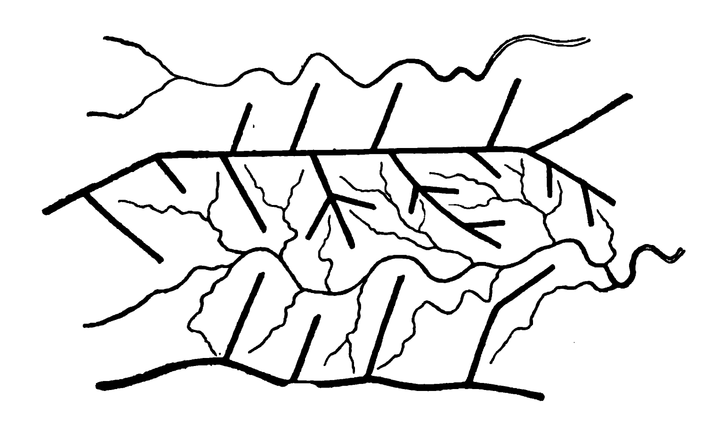
Le sol, en dernière analyse, est formé de lignes de hauteurs séparées par des dépressions ou vallées au fond desquelles coulent les fleuves et les rivières.

Des lignes de hauteurs moins importantes se greffent sur les lignes principales et sont séparées elles-mêmes par des dépressions secondaires dans le sillon desquelles coulent les rivières et les ruisseaux.

La ligne marquante et principale d'une ligne de hauteurs est sa ligne de faîte.

La *ligne de faîte* est la ligne courant tout le long du dos d'une chaîne de hauteurs en unissant ses points les plus élevés : c'est la *ligne de partage* des eaux. On l'appelle encore *crête ou arête principale.*

La ligne marquante et principale d'une vallée est son thalweg (chemin de la vallée). Le *thalweg* est la ligne qui serpente dans le fond de la vallée, unissant les points les plus bas de celle-ci; c'est la voie naturelle que suivent les eaux recueillies sur les pentes ou *versants* des lignes de hauteurs, c'est le lit du cours d'eau.



Dans ses grandes lignes, lignes de faîtes et thalwegs, un terrain présente la forme exprimée par la figure ci-dessus : les thalwegs et les lignes de faîte se ramifient parallèlement et en sens inverse, comme les branches sur le tronc d'un arbre et les rameaux sur les branches.

Il s'en faut qu'on puisse ramener un terrain quelconque à cette charpente idéale. Les bouleversements géologiques ont

donné à la surface du sol des formes capricieuses qu'il est impossible de rapporter à un type unique, ou même à plusieurs types généraux. *Cependant, pour faire une étude sérieuse et méthodique du relief d'un terrain, il est indispensable de déterminer en premier lieu ses grandes lignes de faîte et de thalweg : Ces grandes lignes serviront à définir l'aspect général de l'ensemble du terrain et ses caractères principaux : les lignes secondaires seront ensuite utilisées pour subdiviser la surface totale en parties bien limitées que l'on pourra embrasser d'un seul coup d'œil et décrire en détail.*

Avant de faire la description de deux terrains, choisis dans la planchette d'Uccle et dans la feuille de Bruxelles, il est indispensable de donner les définitions des formes principales qu'affecte le relief et de montrer comment sont exprimés ces mouvements du sol au moyen des courbes de niveau [1].

Un *mont*, une *montagne* est une élévation considérable du sol au-dessus du terrain avoisinant.

La partie la plus élevée d'une montagne s'appelle le *sommet* ou la *cime;* la partie inférieure est la *base* ou le *pied* de la montagne; les pentes comprises entre le sommet et la base se nomment les *flancs*.



Un *pic* ou *piton* est une montagne qui se termine en pointe; si le pic est très effilé, il prend le nom *d'aiguille*.

Si le sommet de la montagne est arrondi en forme de globe, on l'appelle *dôme* ou *ballon*.

Une *dent* est une montagne se présentant à pic d'un côté seulement.

---

[1] Une feuille de Spa au 40.000e, édition de 1894 en couleurs, convient admirablement pour ce genre d'étude : on fera ressortir les crêtes si bien marquées du Condroz et les sommets des Ardennes en teintant en brun ou en bistre (au crayon) quelques courbes fermées. Une carte teintée de cette façon est à la disposition des élèves. Voir aussi les planchettes de Diest, Spa et Spy. — Si l'on se sert d'une feuille ou d'une planchette imprimée en noir, on commence par teinter les cours d'eau en bleu.

Comme exercice, on représentera ces montagnes au moyen de courbes de niveau.

Plusieurs montagnes disposées les unes à la suite des autres et soudées les unes aux autres forment une *chaîne de montagnes*.

Un *nœud* est le point de croisement de deux chaînes de montagnes.

Les chaînes secondaires qui se détachent d'une chaîne principale portent le nom de *chaînons, contreforts, éperons*.

Les flancs réunis des montagnes formant chaîne constituent les *versants* de la chaîne.

Les versants sont en pente douce, raide, uniforme ou variée.

Si les pentes douces alternent sur un versant avec des *escarpements*, des *ressauts*, le versant est dit en *gradins*.

Le versant du côté opposé de la chaîne par rapport à l'observateur est le *revers* de la chaîne de montagnes.

Lorsqu'au lieu de former chaîne, les montagnes sont groupées les unes à côté des autres, elles constituent un *massif*.

Si les sommets dans les massifs sont peu accentués, sont aplatis, si la surface supérieure du relief de la masse entière présente l'aspect général d'une plaine, c'est un *plateau*.

Par extension on donne le nom de plateau au sommet aplati d'une montagne isolée.

Une *colline* est une petite montagne; un *monticule* une petite colline.

Lorsqu'un monticule est situé sur une ligne de hauteurs, et se termine par un sommet arrondi, il prend le nom de *mamelon*.

Il n'y a en Belgique ni chaînes de montagnes ni montagnes [1], mais il y a des chaînes ou lignes de collines, des lignes de monticules, des *lignes de hauteurs*, des *crêtes*, auxquelles les définitions qui précèdent sont applicables.

Si l'on suppose un mamelon coupé par une série de plans horizontaux équidistants, les intersections de ces plans avec la

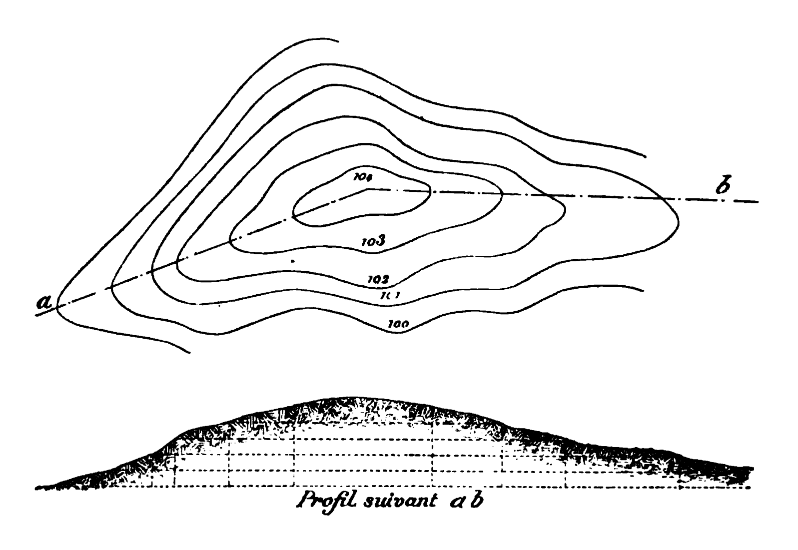
---

[1] Le point le plus élevé en Belgique est la Baraque Michel dont l'altitude maxima est 675m02; la colline s'élève au-dessus de la Vesdre, à Goé, de 433 mètres. La distance à vol d'oiseau de Goé au sommet de la Baraque Michel est de 11 kilomètres.

surface extérieure du mamelon, donnent, projetées sur le plan horizontal le plus bas, des *courbes fermées* ayant la forme générale d'une ellipse.

Si l'on inscrit sur chacune des courbes hypsométriques le chiffre de la cote ou altitude du plan horizontal auquel elle appartient, on aura tous les éléments nécessaires pour apprécier les formes de ce mouvement de terrain. (Voir le *Cours de Géométrie descriptive.*)

La figure ci-dessous reproduit, à l'échelle du 10.000ᵉ, le mamelon 104 situé entre Watermael et Boitsfort. Le profil est surhaussé.



Profil suivant a b

Les mamelons sont nombreux sur les deux cartes que nous étudions en détail. Planchette d'Uccle : Observatoire (102), Engeland (103) et (104), Champ des manœuvres (103), Hippodrome de Boitsfort (108), etc.; feuille de Bruxelles : 81 et 80 sur la crête entre Nosseghem et Sterrebeeke, etc.

Remarque. — L'équidistance entre les plans horizontaux est, comme on le voit, de 1 mètre pour la planchette d'Uccle et de 5 mètres pour la feuille de Bruxelles.

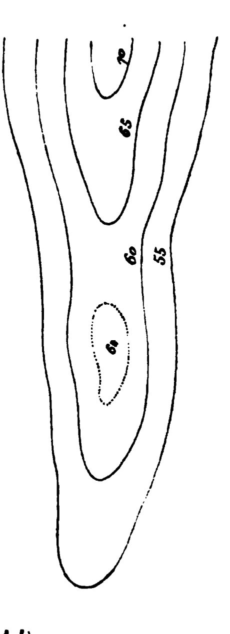
L'équidistance est toujours inscrite le long du bord inférieur

du cadre : elle est, en Belgique, de 1 mètre au 20.000^e pour toute la partie du pays qui est située sur la rive gauche de la Meuse et de 5 mètres pour la partie, plus accidentée, de la rive droite de ce fleuve. Pour la carte au 40.000^e, l'équidistance est unique pour tout le pays, elle est de 5 mètres.

L'équidistance des courbes de niveau est de 20 mètres au 160.000^e. Notre carte réglementaire donne cependant la *courbe* de 5 mètres, limite approximative de l'inondation qui couvrirait le pays si la mer rompait ses digues.

Si le terrain est fortement accidenté, il arrive qu'on ne peut tracer toutes les courbes, un bon graveur pouvant tracer au plus neuf traits parallèles dans l'espace d'un millimètre : on arrête alors le tracé de quelques-unes des courbes jusqu'à ce que la pente devienne plus douce.

Si, au contraire, certains mouvements caractéristiques du sol se trouvent entre deux courbes et ne sont pas représentés, on détermine des courbes *intercalaires* qu'on trace, pour les distinguer des courbes qui sont à l'équidistance adoptée, en pointillés ou en traits interrompus.

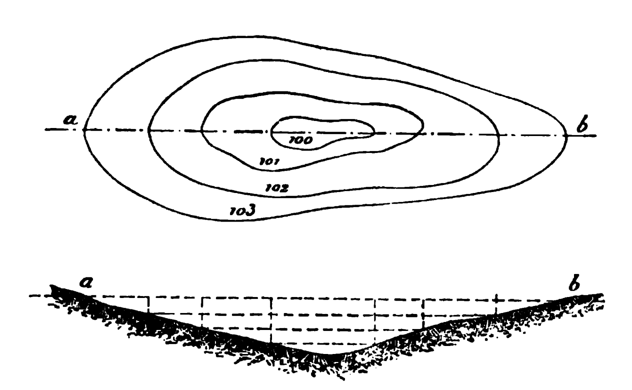


Exemples. — Feuille de Bruxelles, courbe fermée 73 au Sud de Sterrebeek, courbe fermée 68 au Nord de Nosseghem.

Au 20.000^e, on renforce le trait des courbes de 5 en 5 mètres pour ne pas multiplier les cotes inscrites : on file avec facilité les courbes renforcées à travers les détails de la planimétrie et l'on détermine sans effort la cote des courbes voisines. Les courbes renforcées font aussi très bien ressortir le relief, bien que le but que l'on s'est proposé en les exécutant n'ait pas été de produire des effets d'ombre et de lumière, comme dans les cartes allemandes ou les cartes françaises (voir p. 114).

Si les courbes étaient numérotées en sens inverse, elles représenteraient un *entonnoir*.

Les grands entonnoirs sont produits par des mouvements volcaniques, il n'y en a pas en Belgique, mais on rencontre par-ci par-là des *fondrières*, affaissements peu étendus du terrain occasionnés par la présence d'eaux souterraines.



On trouve des fondrières aussi bien sur les plateaux des Ardennes que dans les plaines sablonneuses de la Campine.

Lorsque des carrières de pierre ou de sable sont abandonnées et comblées en partie par des éboulements, le sol affaissé présente la forme d'un petit entonnoir.

Le peu d'étendue de la surface de ces carrières et le défaut d'harmonie qui existe entre le tracé des courbes qui les représentent et le tracé général des courbes du terrain naturel avoisinant attirent immédiatement l'attention du lecteur.

Pour s'assurer de ce que l'on a sous les yeux un entonnoir et non un monticule, un *tertre* ou une simple *butte*, on lit les cotes des courbes fermées.

Planchette d'Uccle. Il existe un petit entonnoir de carrière, près et au nord du cimetière de Boendael [1].

Conclusion pratique. — Des courbes fermées dans les limites d'un levé topographique *accusent généralement une surélé-*

---

[1] Au 40.000e, les carrières, les buttes, les tumulus, etc., sont toujours représentés au moyen de hachures, comme les talus.

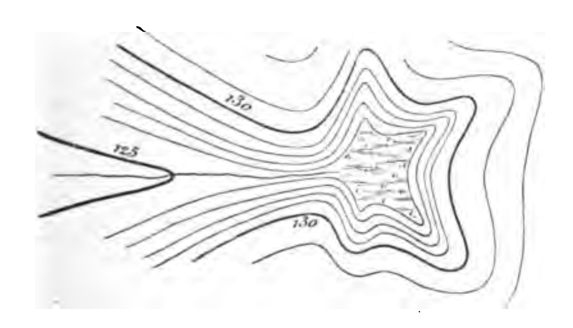


vation du terrain, dont le point culminant est situé dans la courbe fermée de moindre développement.

En d'autres termes, les courbes fermées expriment, en Belgique, le relief de collines, de monticules, de mamelons, et *fort exceptionnellement* des fondrières.

Dans les fondrières, du reste, on constate l'existence d'étangs, de mares ou de flaques d'eau, de fanges, de marais, etc., de quelque indice de la présence d'eaux stagnantes ou croupissantes, manquant de décharge suffisante.

Par extension, on appelle encore entonnoir la réunion en patte d'oie de plusieurs dépressions courtes et fortement inclinées, convergeant vers un thalweg collecteur à pente généralement moins prononcée. La courbe étoilée du fond de l'entonnoir n'est pas nécessairement une courbe fermée.



Exemple. — Entonnoir au N.-O. de la Grande-Espinette, chaussée de Bruxelles à Charleroi, 12e Bne.

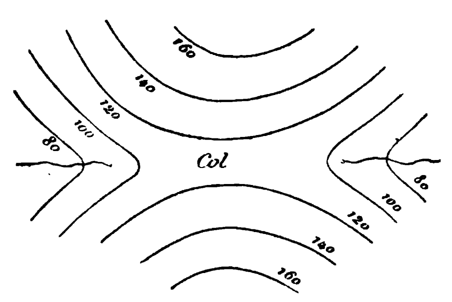
Boitsfort est dans un entonnoir dont la courbe du fond est fermée au niveau des étangs.

Deux montagnes, deux collines, deux mamelons accolés sont séparés par une dépression plus ou moins profonde qui prend le nom de *col* (figure page 89).

Si le col est large et peu profond, et affecte la forme de l'assiette d'une selle de cavalier, on l'appelle *selle;* s'il est étroit, profond, il se nomme *gorge* ou *étranglement.*

Les cols sont souvent des *défilés (Cours d'Art militaire).*

Un col est exprimé par quatre courbes hypsométriques dont les convexités sont opposées deux à deux (voir figure p. 89).



Le sommet du col est le point le plus élevé du col et en même temps le point le plus bas de la ligne de faîte qui le coupe. Le sommet est situé vers le milieu de la surface comprise entre les quatre courbes, surface à laquelle on donne parfois le nom de *plateau du col.*

Un col est l'origine de deux vallées et de deux croupes en sens opposé (voir plus loin *Vallée*).

Les cols ont une très grande importance économique et militaire : ce sont les points de passage les plus faciles, et souvent les seuls praticables en pays de montagnes, pour se transporter d'un versant sur l'autre. Ils coupent les lignes de faîte aux points les moins élevés des chaînes de hauteurs. On gagne les cols par les pentes les plus douces et les plus régulières ; aussi les routes, les chemins de fer, les canaux convergent-ils vers ces passages naturels.

(Col de Saverne, col de Naurouse, du Saint-Gothard, voir le *Cours de Géographie militaire.)*

Le sol est trop peu accidenté, les cols trop insignifiants et le développement des voies de communication trop grand dans les environs de Bruxelles pour faire saisir, par des exemples, toute l'importance de ces mouvements de terrain (v. la feuille de Spa).

Nous trouvons cependant un bel exemple, feuille de Bruxelles et planchette d'Uccle : la station d'Uccle-Calevoet est située dans un petit col par lequel passent un chemin pavé, la chaussée de Bruxelles à Alsemberg et le chemin de fer de Bruxelles à Charleroi.

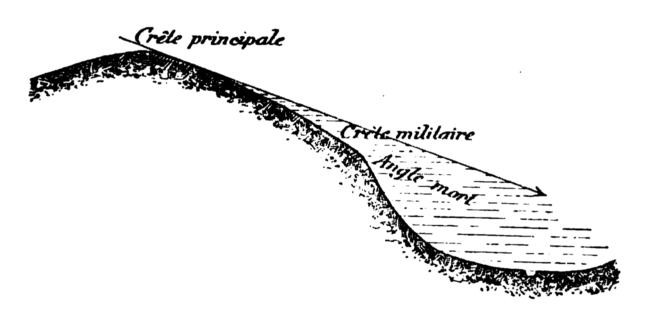
Un demi-mamelon ou l'extrémité d'une ligne de hauteurs est une *croupe :* c'est un mouvement de terrain ayant la forme d'une croupe de cheval (fig. p. 89).



On désigne souvent sous le nom de croupe une partie plus étendue d'une ligne de hauteurs dont la croupe n'est en réalité que l'extrémité.

Si l'on fait une coupe AB perpendiculairement à la ligne de faîte FF′ d'une ligne de hauteurs (fig. p. 89), on remarque généralement que le profil obtenu présente une double courbure, légèrement convexe vers le ciel dans la partie supérieure, puis concave dans la partie inférieure. Le point de raccordement des deux courbes marque ce que l'on appelle la *crête militaire*. La *crête principale* est la ligne de faîte.

Une troupe établie sur la crête principale ne voit ni le pied des hauteurs, ni même une bonne partie de la vallée. Le rayon



visuel partant de la crête principale et tangent au terrain laisse sous lui un grand *angle mort;* une zone de terrain qui ne serait pas battue par les feux de cette crête.

De la crête militaire on peut voir et battre de feux tout le terrain situé plus bas (voir le *Cours d'art militaire*).

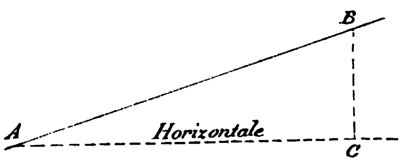
On observe encore que la pente [1] est plus accentuée immé-

---

[1] *La pente* d'une droite AB, inclinée sur l'horizon, est, comme on le sait, le rapport de la différence de niveau BC de deux de ses points A et B à leur distance horizontale AC.

$$\text{Pente AB} = \frac{BC}{AC}.$$

Dans l'expression du relief par les courbes BC est con-





diatement sous la crête militaire qu'entre celle-ci et la crête principale, et cette remarque permet de déterminer la crête militaire par la seule inspection des courbes de niveau.

En effet (figure page 89), la distance horizontale qui sépare les courbes de niveau étant d'autant plus petite que les pentes sont plus fortes et la crête militaire étant située au sommet de la pente la plus accentuée du versant à partir du thalweg, la courbe qui marque la crête militaire est la plus élevée du faisceau des courbes les plus serrées en partant du fond de la vallée vers la crête principale.

Ce faisceau se détache parfois fort bien en une bande plus sombre serpentant sur la moitié inférieure des versants.

Une *vallée* est une longue dépression du sol, un creux en pente entre deux lignes de hauteurs.

Si la vallée est peu importante, peu étendue et peu profonde, elle se nomme *val* ou *vallon;* si elle est étroite et profonde, resserrée entre des versants à pic, on l'appelle *gorge* ou *étranglement*.

Un *ravin* est une vallée pierreuse, étroite, profonde, en pente rapide, dont le thalweg est marqué par le lit d'un torrent. Une *ravine* est un petit ravin cavé par les eaux et dont le lit n'est pas rocailleux.

Exemples tirés des cartes.

On donne parfois le nom de ravin à un chemin encaissé, creusé, *raviné* par les eaux. Les talus des chemins ravinés sont généralement à pic et couverts de broussailles et de haies qui

---

stante, égale à l'équidistance des plans horizontaux, mais AC varie.

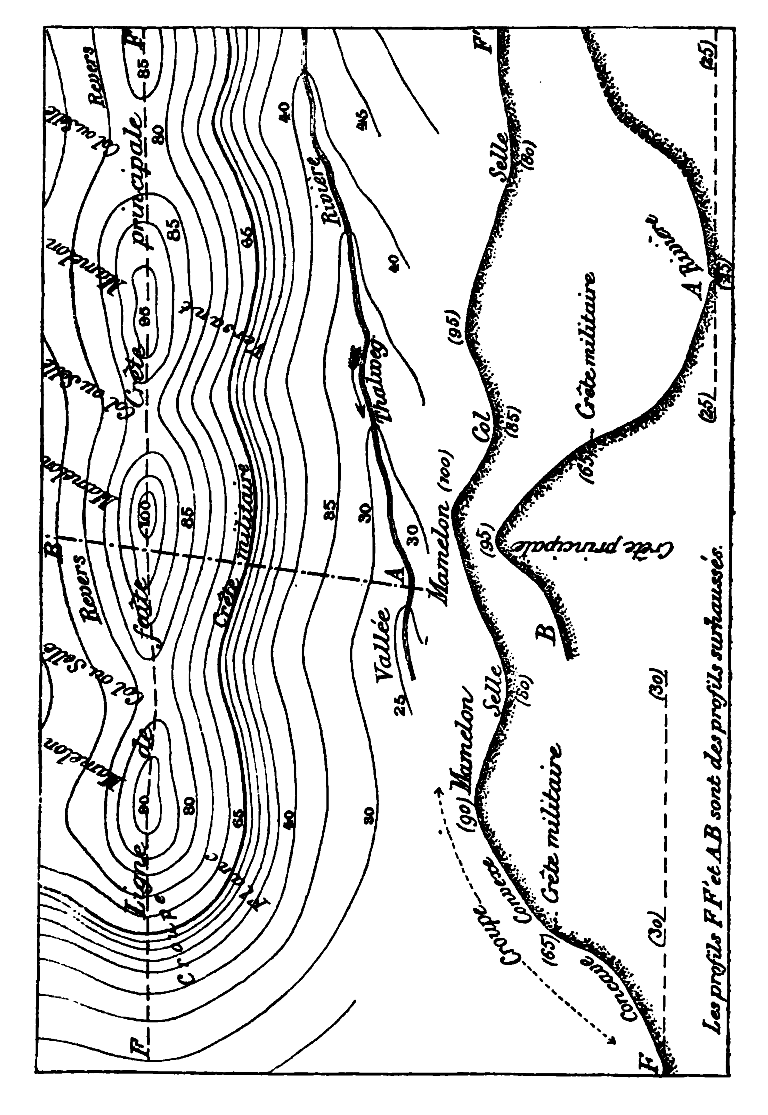
Plus AC est petit, plus le rapport $\frac{BC}{AC} = \frac{\text{équidistance}}{\text{distance horizontale}}$ est grand, *plus la pente est forte.*

Conclusion pour la lecture des cartes.

Plus les courbes se rapprochent, plus la pente est forte.

Si les courbes se maintiennent à des distances égales, la pente est uniforme, régulière, si elles se rapprochent la pente s'accentue; si l'écart entre les courbes grandit, la pente diminue; s'il n'y a pas de courbes, le terrain est horizontal.

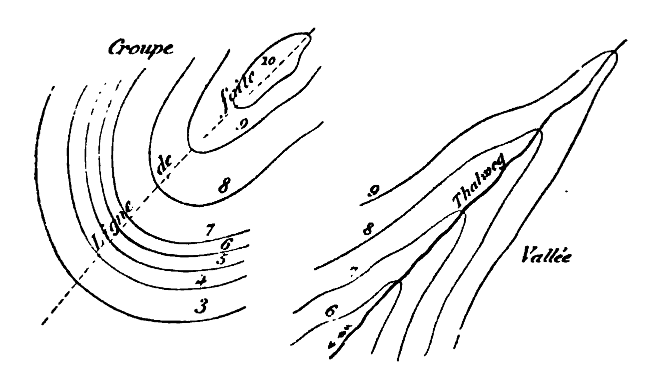
soutiennent les terres. Ce sont des accidents de terrain dont l'importance tactique est très sérieuse pour toutes les armes, mais principalement pour les armes montées.



Exemples : Environs de *Woluwe-Saint-Pierre.*

La *vallée* présente, en creux, le mouvement de terrain que la croupe présente en relief : les courbes de niveau qui l'exprime sont donc *cotées en sens inverse* et affectent un tracé général analogue.

Les croupes sont courtes et se terminent brusquement, leur dos est *d'habitude* largement arrondi ; les vallées sont longues



et s'étendent en pente douce, le sillon des vallées est *ordinairement* plus étroit que le dos des croupes en pays accidenté. Il en résulte que les courbes exprimant les vallées forment des boucles de rebroussement plus *pointues*, les courbes exprimant les croupes des boucles de rebroussement plus *arrondies*, et que la distance qui sépare deux courbes consécutives sur les versants reste la même dans les croupes et s'allonge dans les thalwegs.

Le thalweg est une ligne bien définie, un sillon naturel ; la ligne de faîte au contraire est peu définie, ce n'est pas une *ligne*, une arête vive : le sommet des courbes hypsométriques est sur le thalweg dans les vallées et sur la ligne de faîte dans les croupes ; ce sommet, ce *point de rebroussement*, est donc mieux marqué dans les vallées que dans les croupes.

On remarque aussi que les courbes, sur les versants, ont leur concavité vers les lignes de faîte et leur convexité vers les thalwegs.

Exemple : Feuille de Bruxelles : terrain entre *Hoeylaert* et *Overyssche.*

A ces caractères, avec un peu d'habitude, on distingue généralement une croupe d'une vallée sans avoir besoin de recourir à la lecture des cotes; cependant, il serait imprudent de s'y fier d'une façon absolue, car ils sont parfois en défaut.

Exemple : Planchette d'Uccle : terrain entre *Rhode-Sainte-Genèse* et la *forêt de Soignies*.

Un indice certain, c'est l'existence d'un cours d'eau unissant les sommets des courbes : pas de doute possible, *s'il y a un simple filet d'eau, l'eau suit un thalweg et les courbes sont l'expression d'une vallée.*

Un autre indice excellent :

Les bandes étroites formées par les prairies (teinte verte au 20.000^e, et hachures en traits interrompus au 40.000^e) marquent fort bien les vallées.

Ces deux derniers indices sont d'une application facile, rapide et *très pratique*. Nombreux exemples.

Les vallées montent en pente douce et régulière vers les cols et les cols sont les points les moins élevés des lignes de faîte. Pour ces deux motifs, les voies de communication importantes suivent les thalwegs. (Développements.)

Un terrain, même un terrain très peu étendu, n'est presque jamais une surface régulière à pente uniforme. Le sol présente toujours des *ondulations*, des *rides*, une succession continuelle de surfaces alternativement concaves et convexes formant ce que l'on appelle des *plis de terrain*.

Les plis de terrain ont une importance considérable en tactique; ils sont utilisés comme couverts ou comme rideaux dans l'occupation ou l'attaque des positions. *(Cours d'art militaire.)*

L'équidistance de 5 mètres des feuilles au 40.000^e ne permet pas toujours d'exprimer suffisamment les plis de terrain. (Voir *Reconnaissances topographiques*, 4e partie.)

On désigne souvent, par extension, sous le nom de plis de terrain, les petits vallons dont la direction est à peu près parallèle à la ligne de faîte ou crête principale.

Description d'un terrain. — On applique, en se servant des courbes de niveau, les principes que nous avons établis page 78.

On recherche *d'abord* les plus grands thalwegs, marqués par

les deux ou trois cours d'eau principaux (rivières ou ruisseaux); *puis* les lignes de faîte ou lignes de partage de ces cours d'eau, marquées par la direction générale des mamelons, des cols et des croupes, la ligne FF′ (figure page 89). A l'aide de ces grandes lignes, on définit le relief de l'ensemble du terrain, *sans se préoccuper des détails*.

On s'occupe ensuite exclusivement d'une partie du terrain, limitée par deux des premières lignes principales (thalweg et ligne de faîte); on recherche les ruisseaux, les filets d'eau ou les grands plis exprimés par des courbes de niveau ayant les caractères que nous avons indiqués pour les vallées (on a recours aux longues bandes de prairies); on recherche en résumé les *thalwegs principaux de cette subdivision de terrain; puis* on en détermine les lignes de faîte, marquées par l'axe d'une croupe dans tous les cas et parfois par un ou deux mamelons si la partie de terrain est importante.

On continue de la sorte à subdiviser le terrain, et l'on finit par l'avoir fouillé jusque dans ses moindres *plis*.

1° Feuille de Bruxelles au 40.000e : angle N.-E. de la carte.

2° Planchette d'Uccle au 20.000e : angle S.-O. de la carte.

Un terrain qui se prête admirablement à une description méthodique, c'est le plateau condruzien de *Sprimont*, entre l'Ourthe, la Vesdre, l'Ardenne et l'Amblève. (Voir la feuille de Spa.)

Quelques problèmes qui n'ont pas été traités directement.

a) *Faire un profil suivant un chemin, un sentier, un itinéraire à travers champs.*

On développe l'itinéraire en ligne droite et on construit le profil comme nous l'avons vu page 77.

Exemple. — Sentier, prolongé par un chemin de terre, partant de la Petite-Espinette (10e Be chaussée Bruxelles à Charleroi) vers Rhode-Sainte-Genèse.

b) *Déterminer la pente entre deux courbes données.*

La pente est considérée comme régulière entre deux courbes de niveau.

$$\text{Pente} = \frac{\text{équidistance}}{\text{distance horizontale}}.$$

Si c'est la pente moyenne d'un itinéraire AB.

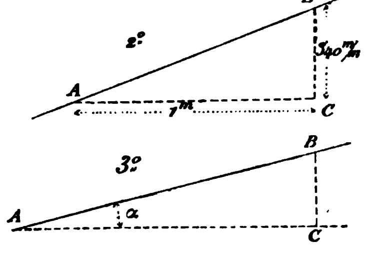
$$\text{Pente} = \frac{\text{cote A} - \text{cote B}}{\text{distance horizontale AB}}$$ (AB mesurée suivant l'itinéraire sur la carte).

On exprime les pentes de trois façons.

1° Comme on vient de le faire.

$$\text{Pente AB} = \frac{\text{différence de niveau}}{\text{distance horizontale}} = \frac{BC}{AC} = \frac{1}{p}.$$

On ramène le numérateur à l'unité pour rendre l'appréciation et la comparaison plus faciles.



2° En millimètres de différence de niveau pour une distance horizontale de un mètre.

Pente AB = 340^{mm}.

Pour les chemins de fer c'est d'habitude comme cela que l'on exprime les pentes.

3° En degrés : pente AB = $\frac{BC}{AC}$ = tg α; AB a une pente de α°.

Le 1° est la seule façon pratique d'exprimer et de trouver la pente à l'aide de *nos cartes* donnant le relief par les courbes de niveau.

Exemples. — Pente moyenne de la route de Mont-Saint-Jean à Malines entre les 9e et 10e bornes. La pente est à peu près uniforme.

La 9e borne est à la cote 60,25, la 10e borne à la cote 40,00.

$$\frac{60,25 - 40,00}{1000} = \frac{20,25}{1000} = \frac{1}{50}.$$

Planchette d'Uccle. Pente de la chaussée de Bruxelles à Alsemberg, au sud de ce village, depuis la bifurcation de la route de Hal jusqu'à la limite de la carte vers le Sud.

$$\frac{105 - 70}{700} = \frac{35}{700} = \frac{1}{20}.$$

Praticabilité des pentes. — En général, de 0° jusque 15° (pente de $\frac{1}{4}$), les terrains sont propres aux manœuvres des trois armes; de 16° jusque 30° (pente de $\frac{1}{2}$), les terrains ne conviennent qu'à de petits détachements; de 31° jusque 45° (pente de $\frac{1}{1}$), les pentes ne sont accessibles qu'à des fantassins isolés.

PENTES			OBSERVATIONS
TANGENTES	DEGRÉS	POUR UN MÈTRE	
$\frac{1}{50}$	1	0,020	Maximum de pente des chemins de fer.
$\frac{1}{20}$	3	0,050	Maximum de pente des routes nouvelles.
$\frac{1}{18}$	3	0,055	Évolutions faciles pour les 3 armes.
$\frac{1}{12}$	5	0,083	Manœuvres possibles des 3 armes; charge pénible en descendant pour la cavalerie; enrayage pour les voitures ou chevaux de renfort.
$\frac{1}{10}$	6	0,100	La cavalerie ne peut charger qu'en montant, l'infanterie descend difficilement en ordre serré.
$\frac{1}{8}$	7	0,125	La cavalerie peut encore descendre au trot.
$\frac{1}{7}$	8	0,143	Impraticable aux voitures lourdes.
$\frac{1}{6}$	9 $\frac{1}{2}$	0,167	Maximum de pente des anciennes routes; l'artillerie de campagne ne manœuvre plus; la cavalerie ne charge plus en masse.
$\frac{1}{4}$	14	0,250	Limite maxima jusqu'à laquelle les troupes des 3 armes peuvent se mouvoir.
$\frac{1}{3}$	18 $\frac{1}{2}$	0,333	Accessible aux chevaux montés et aux voitures légères.
$\frac{1}{2}$	26	0,500	Accessibles aux mulets et maxima pour les cavaliers isolés.
$\frac{3}{4}$	37	0,750	Maximum de pente pour les mulets et le fantassin chargé.
$\frac{1}{1}$	45	1,000	Escarpement qu'un tirailleur peut franchir en s'aidant de ses mains.

Ces indications n'ont qu'une valeur approximative : une *reconnaissance* sera toujours nécessaire lorsqu'on voudra sortir des chemins pavés ou prendre à travers champs. Les chemins de terre peuvent être boueux, défoncés, ravinés, etc.; les terrains humides, coupés de fossés ...; — les terres fraîchement labourées, détrempées par les pluies, etc.; enfin, la nature du sol varie à chaque instant.

Remarque. — La ligne de plus grande pente d'un terrain, en un point donné, est la normale à la courbe de niveau passant par ce point; la ligne de moindre pente, ou de pente nulle, au même point, est la tangente à cette courbe ou mieux la courbe elle-même.

Conclusions pratiques pour la lecture des cartes. — Un chemin coupant normalement les courbes de niveau suit la pente maxima du terrain; un chemin courant parallèlement aux courbes est horizontal; la pente d'un chemin qui coupe obliquement les courbes hypsométriques, se rapproche d'autant plus de la pente maxima du terrain, que son tracé se rapproche de la direction de la normale aux courbes. Ex. : feuille de Bruxelles, terrain entre Sterrebeek, Woluwe-St-Étienne, Saventhem et Nosseghem.

Les thalwegs font exception à cette règle, ils coupent normalement les courbes et suivent cependant les lignes de moindre pente pour arriver sur les lignes de faîte.

c) *Déterminer la cote d'un point* A *situé entre deux courbes de niveau.*

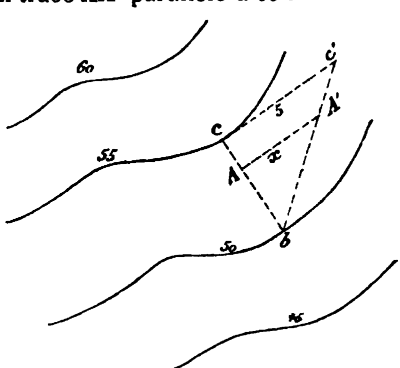
Par A, on mène bc normale aux deux courbes. On construit le triangle rectangle bcc' et on trace AA′ parallèle à cc'.

Cote A = cote $b + x = 50 + x$.

$$\frac{x}{5} = \frac{Ab}{cb} \text{ d'où } x = 5 \times \frac{Ab}{cb}.$$

$$x = \text{équidistance} \times \frac{Ab}{cb}.$$

Ab et cb (distance horizontale entre les courbes) sont mesurées sur la carte au moyen de l'échelle ou d'un double décimètre.



d) *Trouver sur une carte un itinéraire à travers champs dont la pente maxima est donnée.*

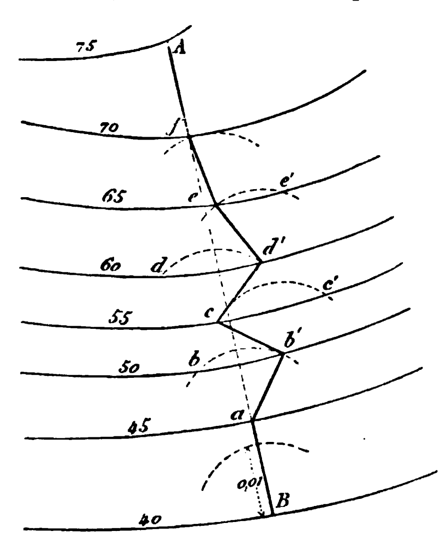
Soient une carte au 40.000ᵉ, l'équidistance de 5 mètres et la pente maxima $\frac{1}{80}$.

On cherche la distance horizontale entre deux courbes donnant la pente $\frac{1}{80}$.

$$\frac{\text{Équidistance}}{\text{distance horizontale}} \text{ ou } \frac{5}{x} = \frac{1}{80}, \text{ d'où } x = 400.$$

400 mètres à l'échelle du 40.000ᵉ sont représentés par 0ᵐ01.

On trace l'itinéraire AB en ligne droite d'abord, et on ne le modifie qu'aux endroits où la pente est plus forte que $\frac{1}{80}$.



Du point B, avec un rayon égal à un centim., on trace une circonférence; cette circonférence ne coupe pas la courbe 45 donc la pente B*a* est plus faible que $\frac{1}{80}$.

Une circonférence tracée de *a* comme centre, coupe la courbe 50 en *b* et *b'*; on adopte *b* ou *b'*, soit *b'*.

Une circonférence tracée de *b'* coupe la courbe 55 en *c* et *c'*; on adopte *c* qui se rapproche de la ligne droite, etc.

L'itinéraire B*ab'cd'ef*A répond à la condition de pente donnée.

En réalité, on ne pourra qu'exceptionnellement appliquer ce problème sur les cartes topographiques, mais il fait ressortir des propriétés utiles pour la solution d'autres problèmes et la lecture rapide des cartes.

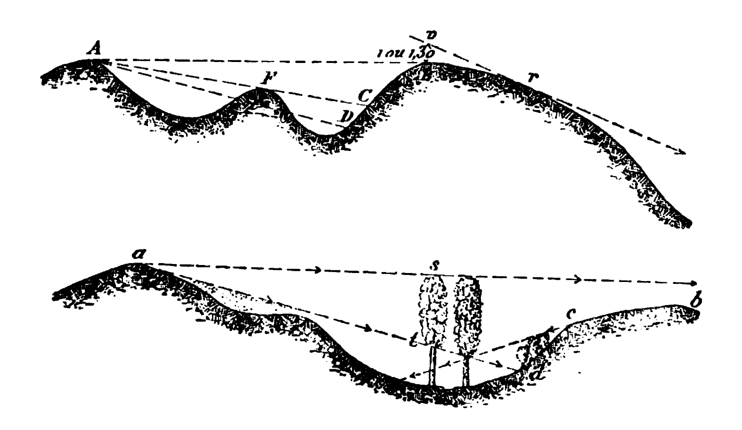
e) *D'un point donné* A *sur la carte, peut-on apercevoir un autre point* B, *également donné sur la carte?*

On fait un profil suivant AB. On joint A et B, sur le profil,

par une ligne droite. La droite AB est le rayon visuel de A vers B ou réciproquement. Si AB laisse tout le terrain intermédiaire sous lui, A verra B et réciproquement.

Si c'était le point D, le rayon visuel rencontrant le terrain, D ne serait pas vu de A.

On peut aussi, dans certains cas particuliers, tel que celui de la figure donnée, résoudre le problème en menant une tangente AC



à la crête intermédiaire F. Tout ce qui est au-dessus de C, sur le versant BCD est vu de A, tout ce qui est *en dessous* n'est pas vu de A.

Au point de vue du tir, il faut tenir compte de la hauteur du fusil au-dessus du terrain, 1^m^30, ou de la hauteur d'affût des pièces, 1 mètre pour les canons de campagne :

Le profil construit, on élève une ordonnée de 1 m. ou 1^m^30 au point B avant de mener le rayon visuel *vr* tangent en *r* au terrain.

Remarque. — Il faut encore examiner si aucun objet, en relief sur le sol naturel, ne peut intercepter les rayons visuels :

La crête principale et la crête militaire ne jouissent des propriétés développées dans le cours de tactique que pour autant que le sol soit nu et que les pentes soient régulières.

Les cartes ne mentionnent pas la hauteur des *couverts* formés par les habitations, par les arbres, les haies, les moissons, ...; le 40.000^e^ n'exprime

pas suffisamment les plis de terrain : un champ de tir que l'on croirait, à première vue, très profond en jetant un coup d'œil sur la carte, peut, en réalité, être fort limité ou même disparaître complètement s'il existe des *couverts*, des *rideaux* ou des *plis de terrain*.

Ainsi, dans beaucoup de nos vallées, on trouve de hauts peupliers : ces arbres forment presque toujours des rideaux de verdure qui empêchent que de la crête militaire ou même de la crête principale de la ligne de hauteur de l'une des rives, on aperçoive le versant de l'autre rive; souvent aussi, à cause de ces rideaux, les artilleries adverses, établies sur les crêtes principales, ne se verront pas : si l'on n'a pas découvert ces *petits points noirs* dans la vallée, en reconnaissant les positions *sur la carte*, on sera bien étonné en arrivant en batterie *sur le terrain*.

Les haies, les vergers, les bosquets, les moissons même que l'on trouve sur les versants masqueront les vues, formeront *rideaux*.

Nous en montrerons des exemples frappants dans les reconnaissances pratiques que nous ferons sur les bords de la Woluwe.

La figure de la page 97 montre que le rayon visuel *as*, qui rase la tête des arbres de la vallée, passe au-dessus de la crête *b*; que le rayon *ce*, partant de la crête militaire *c* et rasant le sommet des plantations plus bas, laisse tout le terrain *ed* sous lui, dans l'angle mort; que le rayon visuel *at*, qui rase les branches les plus basses des arbres, va ficher dans le sol en *d* et que, du fait du rideau d'arbres, tout le versant *deb* est caché pour l'observateur *a*; que le rayon visuel *at*, tangent au terrain, laisse sous lui un pli de terrain dans lequel l'adversaire sera à couvert lorsqu'il se portera à l'assaut de la crête *a*. — Les cartes au 40.000e, dont l'équidistance est de 5 mètres, ne peuvent, dans bien des cas, que laisser deviner l'existence de plis de terrain de 2, 3 ou 4 mètres.

Dans la pratique, on peut *parfois* résoudre le problème fort rapidement par la géométrie des plans cotés.

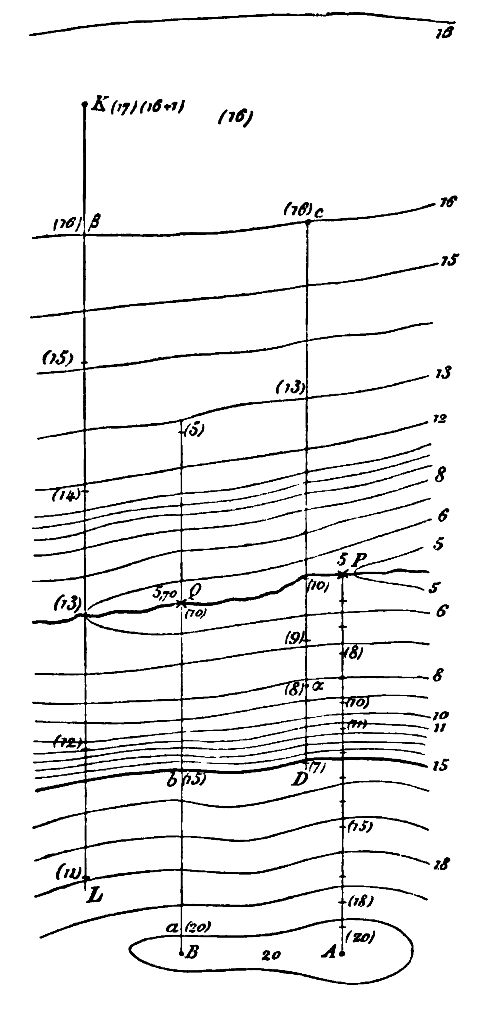
1° Du point A, voit-on le point P?

Joignons AP par une ligne droite; si cette droite laisse sous elle tout le terrain compris entre A et P, P sera vu de A et réciproquement. Construisons l'échelle de pente de cette droite : nous en avons deux points, A coté 20 et P coté 5; il suffit de diviser AP en 15 parties égales.

Nous voyons que la droite AP entre immédiatement sous le terrain en partant de A vers P, et n'en sort qu'à la cote 10,70 environ, où elle est à la même altitude que le terrain. A ne voit donc pas le pont P.

2° Autre méthode : Du point B, voit-on le pont Q?

Les courbes de niveau étant à la même distance horizontale de B en *b*, le terrain est, entre ces points, de pente que l'on peut considérer comme uniforme. Supposons un rayon visuel partant de B dans la direction de Q et tangent au terrain jusqu'en *b* : si ce rayon visuel passe *au-dessus* du pont Q, ce pont ne sera pas vu de B.



Construisons l'échelle de pente du rayon visuel B*ab*Q : nous en avons deux points, *a* coté 20 et *b* coté 15; il suffit de porter *ab* vers Q pour avoir les points 10 et 5.

Nous voyons qu'au-dessus de Q le rayon visuel est coté 10, tandis que le pont Q est à la cote 5,70 du terrain. Le rayon visuel passe donc à 4m30 au-dessus de Q qui n'est, par conséquent, pas vu de B (le rayon visuel va rencontrer le versant opposé aux environs de la courbe 8).

3° Du bord *c* du plateau 16, que voit-on du versant opposé? La pente peut être considérée comme uniforme jusqu'à la

courbe de niveau 13. Construisons l'échelle de pente d'un rayon visuel *c*D, tangent au terrain de *c* à (13). Nous voyons que le rayon visuel et le terrain ont la même cote à l'altitude 8,20 environ.

Tout ce qui est au-dessus de α, sur le versant αD, est donc vu de *c*.

(Le rayon visuel passe à environ 5 mètres au-dessus du ruisseau).

4° Une pièce en batterie au point K, sur le plateau 16, voit-elle la crête militaire du versant opposé?

La hauteur d'affût est de 1 mètre.

La bouche de la pièce est donc à l'altitude $(16 + 1) = 17$.

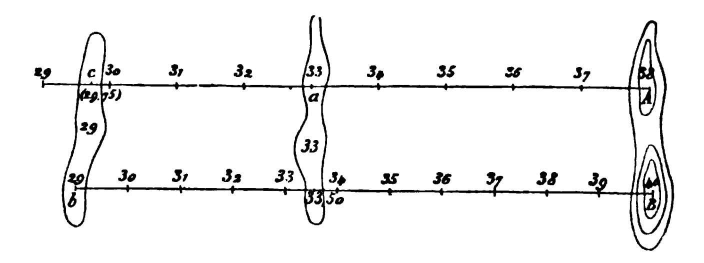
Le rayon visuel le plus bas sera tangent à la courbe 16, bord du plateau. Construisons son échelle de pente : nous en avons deux points K coté 17, β coté 16; il suffit de porter l'unité Kβ vers L pour avoir tous les points de cote ronde.

Nous voyons que le rayon visuel rencontre le terrain entre les courbes de niveau 11 et 12, tout ce qui est au-dessus de la courbe 12 est vu. La crête militaire ennemie est donc battue directement par la pièce K.

(Le rayon visuel passe à 7 mètres au-dessus du ruisseau).

5° La crête 33 empêche-t-elle A de voir la crête 29?

Menons un rayon visuel A*c*, tangent en *a* à la crête 33; construisons son échelle de pente à l'aide des cotes de A et de *a*.



Le rayon visuel passe à 0m75 au-dessus de la crête 29. Un tirailleur couché en *c* ne verrait pas A, mais la bouche d'un canon et un homme debout le verraient.

6° Autre méthode pour résoudre le même problème : Du mamelon 40, voit-on la crête 29?

Joignons B*b* par une droite. Construisons son échelle de pente au moyen des cotes de B et de *b*. La droite B*b* passe à 0m50 *au-dessus* de la crête 33; B voit donc *b* et réciproquement.

f) ***Déterminer l'heure au moyen d'une carte topographique et du soleil*** (approximativement).

On oriente soigneusement la carte en se servant d'une *longue direction* du terrain et de la direction homologue de la carte que l'on a placée horizontalement sur une table, une chaise ou sur un sol uni. On pique verticalement une épingle sur un méridien ou dans l'un des angles inférieurs du cadre. On mesure l'angle que fait l'ombre de l'aiguille avec le méridien ou le bord méridien du cadre [1]. Si l'on admet que l'ombre se déplace de 15° en une heure et qu'elle est dans le plan du méridien à midi, on peut déterminer l'heure actuelle (voir page 66).

Si, au lieu de piquer l'épingle verticalement, on l'incline vers le nord, dans le plan du méridien, d'un angle égal à la latitude du lieu (51° pour Bruxelles), on arrive à une approximation beaucoup plus grande, surtout le matin et le soir.

Exemple. — L'ombre fait 35° à l'Ouest de la direction Sud-Nord; l'ombre doit donc se déplacer à droite de 35° avant qu'il soit midi ou 12 heures.

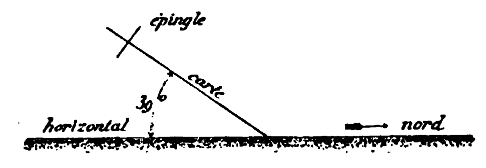
Pour parcourir 15°, il faut à l'ombre 60 minutes.

»	1°,	»	60 : 15 = 4 minutes.
»	35°,	»	35 × 4 = 140 m. = 2 heures 20′.

12 heures — 2 heures 20′ = 9 heures 40′. Il est donc 9 heures 40′ du matin.

---

[1] Il faudrait encore, après avoir orienté la carte, incliner son plan de (90 — latitude du lieu) degrés vers le Nord, soit pour Bruxelles de (90 — 51) = 39° environ.



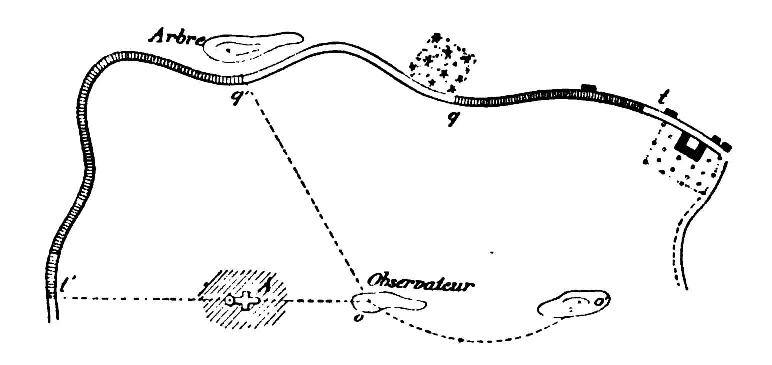
L'ombre se déplace alors exactement de 15° en 1 heure, comme sur les cadrans solaires équatoriaux (ou équinoxiaux).

Une montre ne marche plus : on s'en sert pour mesurer l'angle que fait l'ombre avec le méridien. On place, à cette fin, le diamètre VI-XII dans le plan d'un méridien de la carte orientée, on tient une épingle verticalement — ou inclinée de 51° vers le Nord — au centre du cadran (ou contre le bord extérieur du cadran en faisant passer l'ombre par le centre), et l'on utilise les divisions du cadran, comme celles d'un limbe, pour déterminer la mesure de l'angle que fait l'ombre avec le méridien.

g) *Déterminer la profondeur d'une colonne qui se profile à l'horizon sur une route.*

Si la colonne est comprise entre des accidents du sol ou des détails marquants à proximité de la route, rien n'est plus aisé, ses extrémités peuvent être marquées sur la carte avec une grande précision.

D'un point culminant *o*, un observateur voit défiler la colonne dont la tête *t* va pénétrer dans un hameau ; la queue *q* dépasse, à l'instant, un bois de sapins. Il mesure l'itinéraire *tq* sur sa carte.



S'il n'y a pas de détails bien reconnaissables sur la route même, on observe, au même moment, le passage de la tête et celui de la queue, devant ou derrière deux objets (Arbre et église) bien définis ; on trace sur la carte l'angle *q'ot'*, dont le sommet est le point d'où l'on voit défiler la colonne : les côtés *ot'* et *oq'* couperont la route en *t'* et en *q'*.

Exemple. — La tête de la colonne *t'* est dans la direction de la flèche de l'église d'un village A, la queue de la colonne *q'*

passe en ce moment dans l'alignement déterminé par l'œil de l'observateur et un arbre isolé sur un mamelon (arbre renseigné sur la carte).

REMARQUE. — Si l'observateur est à cheval ou à vélocipède, rien n'empêche qu'il se déplace rapidement, reconnaisse d'un point *o* l'endroit où se trouve la tête de la colonne et d'un autre point *o'* l'endroit où se trouve la queue de la colonne. A la rigueur, il déduirait de la longueur totale le chemin parcouru par la colonne, à l'allure des troupes dont elle se compose, pendant le temps qu'il a mis lui-même pour passer de *o* en *o'*.

h)

i)

Autres méthodes pour exprimer le relief.

Les procédés graphiques inventés pour exprimer les formes du terrain, pour faire parler aux yeux les cartes topographiques, sont nombreux et peuvent se multiplier à l'infini.

Ces procédés sont plus ou moins bons : pour les estimer à leur juste valeur, il faut d'abord se demander le but spécial que poursuit le dessinateur, puis voir s'il réalise ce but et s'il le réalise avec goût, netteté et exactitude.

Il ne faut condamner aucune méthode sans l'avoir étudiée de près.

Ainsi, nous employons depuis toujours les courbes de niveau, tandis que la France, l'Allemagne et d'autres pays ont, pendant un siècle, fait usage des hachures : Le motif principal de la préférence que nous accordons à notre procédé, c'est que nous le connaissons mieux.

Cependant, une preuve indiscutable de ce que l'expression du relief par les courbes est préférable à l'expression du relief par les hachures, c'est la tendance générale à adopter les courbes de niveau pour la construction des cartes militaires nouvelles. L'Allemagne, la France, la Suisse se sont ralliées à notre manière de voir à ce sujet.

Expression du relief par les hachures. — En Allemagne et en France, les pentes du terrain (cartes d'état-major), s'expriment par des teintes, par des effets d'ombre et de lumière : plus un

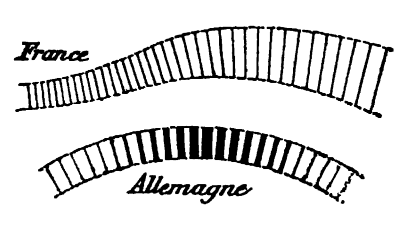
terrain est incliné, plus la teinte qu'il reçoit sur la carte est foncée.

Les teintes sont produites au moyen de hachures.

On appelle hachure, avons-nous dit, la projection horizontale de la ligne de plus grande pente entre deux courbes de niveau.

Les hachures sont donc normales aux courbes entre lesquelles elles sont tracées.

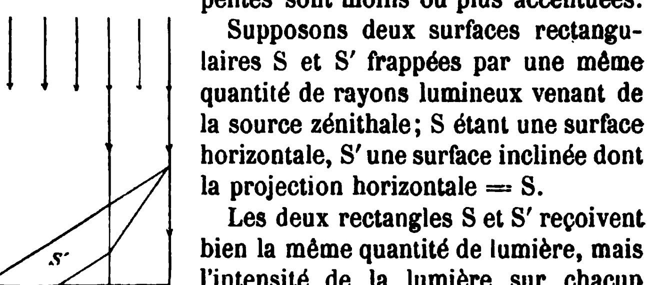
Les hachures sont construites d'après des règles précises dans tous les détails desquelles nous n'entrerons pas.



Pour la construction des hachures sur une carte on admet, généralement aujourd'hui, l'hypothèse de la lumière zénithale, c'est-à-dire que l'on suppose le pays éclairé par une source lumineuse placée à l'infini sur le rayon de la sphère terrestre passant par le milieu de la surface éclairée.

La conséquence de cette hypothèse est que les diverses parties du terrain sont plus ou moins éclairées suivant leur inclinaison. Ainsi les surfaces horizontales, c'est-à-dire les plaines, sont complètement éclairées, tandis que les surfaces verticales, c'est-à-dire les escarpements, ne le sont pas du tout; les surfaces inclinées sont plus ou moins éclairées suivant que leurs pentes sont moins ou plus accentuées.





Supposons deux surfaces rectangulaires S et S′ frappées par une même quantité de rayons lumineux venant de la source zénithale; S étant une surface horizontale, S′ une surface inclinée dont la projection horizontale = S.

Les deux rectangles S et S′ reçoivent bien la même quantité de lumière, mais l'intensité de la lumière sur chacun d'eux est différente. Ces intensités sont inversement proportionnelles à leurs surfaces.

Si nous représentons par i l'intensité de la lumière sur S et par i' l'intensité de la lumière sur S',

$$\frac{i}{i'} = \frac{S'}{S}. \text{ Or, } S' = hb \text{ et } S = hb \cos\alpha$$

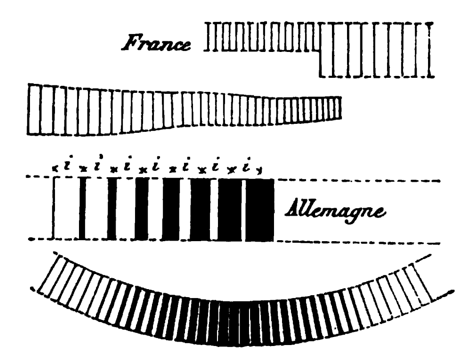
d'où

$$\frac{i}{i'} = \frac{hb}{hb \cos\alpha} = \frac{1}{\cos\alpha} \text{ ou bien } i' = i \cos\alpha.$$

C'est-à-dire que l'intensité d'une lumière sur une surface oblique est égale à l'intensité de cette lumière sur la projection horizontale de cette même surface multipliée par le cosinus de l'angle de pente.

Par conséquent pour l'expression du relief, dans l'hypothèse de la lumière zénithale, les surfaces seront d'autant plus teintées ou ombrées que leurs pentes seront plus rapides.

Les divers systèmes imaginés pour faire produire aux hachures les meilleurs effets d'ombre et de lumière ont tous pour but de donner plus ou moins d'intensité à la teinte.



Cette intensité peut s'obtenir :

1° En resserrant les traits des hachures sans diminuer leur épaisseur;

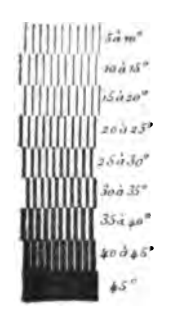
2° En grossissant les traits des hachures dont l'écartement d'axe en axe reste constant.

Les deux manières ont fait *école* dans deux grands pays voisins : la France a adopté le premier système, l'Allemagne le second.

École allemande.

Méthode Lehman. — Bien que dans la nature on rencontre toutes sortes de pentes, depuis la plus douce jusqu'à la plus

abrupte, on convient de ne pas considérer, dans l'expression du relief, les pentes plus rapides que 45°,$\frac{1}{1}$. Celles qui dépassent cette limite d'inclinaison n'appartiennent pas aux formes primitives du terrain et sont du reste impropres aux constructions, aux cultures et aux opérations des armées.



Le major saxon Lehman est, sinon l'inventeur, du moins le promoteur de l'École allemande. C'est lui qui, le premier, donna des règles précises pour la construction des hachures.

Son système date de 1799.

Voici, résumées en quelques mots, les règles de Lehman :

1° Les rayons lumineux qui éclairent le terrain sont supposés tomber verticalement sur lui (c'est donc l'hypothèse de la lumière zénithale).

2° A mesure que les pentes du terrain deviennent plus rapides, elles sont représentées sur le dessin par des teintes plus foncées. Le blanc pur étant réservé pour un terrain horizontal, le noir absolu pour un terrain incliné à 45°.

3° Les teintes s'obtiennent au moyen de hachures normales à des courbes équidistantes [1] qui, tracées au crayon, disparaissent du dessin après l'exécution des hachures.

L'écartement des hachures d'axe en axe est toujours le même, 9/10e de millimètre (les proportions ne sont pas gardées dans le diapason grossièrement construit page 106).

La largeur de la hachure la plus mince, 1/9e de millimètre, est prise pour unité d'épaisseur et appliquée aux pentes de 5 à 10° ; pour les pentes de 10 à 15° la largeur est double (2/9e de millimètre); pour les pentes de 15 à 20° triple (3/9e de millimètre); et ainsi de suite, jusqu'au noir absolu pour 45° et au delà.

---

[1] Remarquer que dans le système allemand ce ne sont pas des courbes hypsométriques, mais simplement des courbes horizontalement équidistantes : nous verrons que dans le système français ce sont des courbes de niveau.

La quantité de noir (largeur de la hachure) est à la quantité de blanc (intervalle entre deux hachures) comme

$$\alpha : (45 - \alpha).$$

α étant l'angle de pente de la hachure, c'est-à-dire l'angle d'inclinaison du terrain

$$\frac{\text{Noir}}{\text{Blanc}} = \frac{\alpha}{45 - \alpha}.$$

Exemple pour 15°

$$\frac{\text{Noir}}{\text{Blanc}} = \frac{\alpha}{45^\circ - \alpha} = \frac{15}{45 - 15} = \frac{1}{2}.$$

D'après le rapport $\frac{\text{Noir}}{\text{Blanc}} = \frac{\alpha}{45 - \alpha}$ on peut construire le diapason suivant :

Diapason des hachures Lehman.

ANGLE DE PENTE (α)	LARGEUR DE LA HACHURE (NOIR).	INTERVALLE ENTRE DEUX HACHURES (BLANC).	OBSERVATIONS.
0	0	9	La largeur de la hachure la plus mince, qui est de 1/9e de millimètre, est prise pour unité. La hachure la plus forte aura donc 8/9e de millimètre; 9/9e donneront le noir absolu.
5	1	8	
10	2	7	
15	3	6	
20	4	5	
25	5	4	Si l'on désire exprimer les pentes de 0 à 5°, comme on ne peut diminuer l'épaisseur du trait le plus fin, on augmente exceptionnellement l'écartement des hachures d'après la formule $\frac{\text{Noir}}{\text{Blanc}} = \frac{\alpha}{45 - \alpha}$.
30	6	3	
35	7	2	
40	8	1	
45	9	0	

La méthode Lehman présente les inconvénients principaux suivants :

1° Lorsque le terrain est très accidenté le dessin prend, en certains endroits, une teinte très foncée qui rend la lecture des signes planimétriques à peu près impossible;

2° L'exécution des hachures est très pénible et demande de la part du dessinateur beaucoup d'attention et d'habileté;

3° Les pentes exprimées par ces hachures sont très difficiles à apprécier avec quelque exactitude;

4° A partir de 45° le noir absolu fait tache sur la carte.

Lehman renonça dans la suite à sa formule primitive $\frac{\text{Noir}}{\text{Blanc}} = \frac{\alpha}{45 - \alpha}$ pour éviter l'inconvénient de rendre les cartes trop noires et adopta la formule

$$\frac{\text{Noir}}{\text{Blanc}} = \frac{\alpha}{90 - \alpha}$$

qui présente l'inconvénient contraire, c'est-à-dire qui teinte trop peu le papier pour des pentes importantes.

Méthode Muffling. — Le général Muffling, pour éviter d'exprimer les pentes de 45° par le noir absolu, changea le rapport du noir au blanc fixé par Lehman et adopta la formule

$$\frac{\text{Noir}}{\text{Blanc}} = \frac{\alpha}{50 - \alpha}$$

Muffling forma de la sorte un diapason nouveau dans lequel la largeur de la hachure est à l'intervalle blanc comme

1	est à	9	pour les pentes de	5°
2	»	8	»	10°
3	»	7	»	15°
4	»	6	»	20°
5	»	5	»	25°
6	»	4	»	30°
7	»	3	»	35°
8	»	2	»	40°
9	»	1	»	45°

Les défauts de la méthode Lehman sont légèrement atténués, mais subsistent dans la méthode Muffling.

Un autre perfectionnement beaucoup plus sérieux fut apporté à la méthode allemande par le général Muffling : considérant la construction des cartes sous un point de vue *spécialement militaire,* partant de ce principe qu'une carte militaire doit permettre de juger, au *premier aspect,* du plus ou moins de difficulté qu'un terrain offre à la marche des armées, Muffling classe les terrains en trois grandes catégories :

1° Les terrains dont l'inclinaison varie de 0 à 15°. Terrains propres aux manœuvres des trois armes;

2° Les terrains dont l'inclinaison varie de 15 à 30°. Terrains sur lesquels ne peuvent manœuvrer que de petits détachements;

3° Les terrains dont l'inclinaison varie de 30 à 45°. Terrains accessibles à des hommes isolés seulement.

Chaque catégorie renferme trois subdivisions de 5 à 5 degrés, de sorte qu'il y a neuf gradations de pente à différencier d'une manière bien nette :

Le général Muffling arrive à résoudre le problème en faisant de sa hachure *un véritable signe conventionnel;* il fait varier non seulement l'épaisseur du trait, mais aussi la forme, le tracé de la hachure.



Les hachures sont construites suivant les lignes de plus grande pente, en traits pointillés, traits interrompus, traits fins, traits gros, traits sinueux, etc., ... comme l'indique le diapason ci-joint (grossièrement construit).

Les hachures sont espacées de façon qu'il y ait :

30 hachures par pouce à l'échelle du				12.500e
50	»	»	»	50.000e
100	»	»	»	100.000e

(Le pouce allemand = 0m0314.)

Les avantages de la méthode Muffling sont les suivants :

La fidélité avec laquelle les pentes sont exprimées ne dépend plus absolument de l'habileté du dessinateur.

Le dessin est d'une intelligence facile et une erreur notable dans la lecture de la carte est impossible.

Le militaire trouve donc rapidement et sûrement la solution du principal problème qui l'intéresse en campagne : ***le terrain est-il propre aux opérations que l'on veut exécuter?***

L'inconvénient principal du système est de rendre la lecture des détails planimétriques à peu près impossible lorsque les pentes sont raides : les détails disparaissent alors sous les hachures.

Une carte d'État-Major au 100.000e de l'empire allemand est en voie de publication ; voir les spécimens. Le relief est exprimé au moyen de hachures tracées d'après les *principes* des deux méthodes que nous venons d'exposer et par l'altitude en mètres d'un grand nombre de points caractéristiques du terrain. Les eaux sont teintées en bleu, ce qui facilite énormément la lecture de la carte qui est fort claire et d'une exécution parfaite.

École française.

Pendant longtemps l'École française, représentée par le corps des ingénieurs géographes, admit l'hypothèse de la lumière oblique à 45°, et d'admirables travaux topographiques furent exécutés d'après cette méthode à la fin du siècle dernier et dans le premier quart de celui-ci.

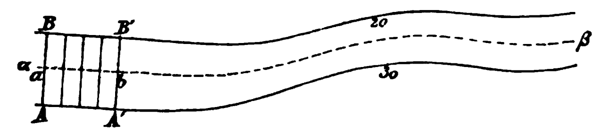
L'hypothèse de la lumière oblique permet de produire de saisissants effets d'ombre et de lumière en pays accidentés, mais ne convient pas pour exprimer les faibles pentes des pays de plaines.

En 1828, une commission, chargée de fixer les bases d'un système régulier de topographie, rejeta l'hypothèse de la lumière oblique et adopta implicitement celle de la lumière zénithale.

L'École française emploie, comme l'École allemande, des hachures normales à des courbes, mais les courbes françaises sont de véritables *courbes hypsométriques* dont l'équidistance verticale est constante et la distance horizontale variable par conséquent.

Elle représente les pentes plus rapides par des teintes plus foncées, mais elle parvient à ce but par un moyen différent : elle donne au trait de la hachure une *épaisseur constante,* et fait *varier* l'écartement des hachures, de manière que la largeur de

l'intervalle blanc soit toujours le $\frac{1}{4}$ de la hauteur de la hachure. C'est là ce que l'on appelle en France la *loi du quart*.



AB normale aux 2 courbes; *αβ* courbe intermédiaire; *ab* = AB.
Par *b* normale A'B' à la courbe *αβ*. Partagez AA' et BB' en 4 parties égales.

La hauteur des hachures dépendant de la distance horizontale des courbes hypsométriques, qui sont d'autant plus rapprochées que la pente est plus forte, il est facile de saisir que plus la pente est accentuée plus les hachures sont rapprochées, plus la teinte est forte.

La loi du quart subit pourtant une modification lorsque la pente est rapide : les courbes de niveau étant alors très voisines, les hachures seraient trop serrées, se confondraient et feraient tache. Quand la distance horizontale entre les courbes devient moindre que 2^{mm} et reste supérieure à $\frac{1}{4}^{mm}$, on conserve aux hachures l'écartement constant de $\frac{1}{2}^{mm}$ et on en grossit le trait de plus en plus, d'après un diapason donné, de manière à obtenir la teinte convenable.

Cette nouvelle convention prend le nom de *loi du grossissement*.

Loi du diapason français. Cette loi, qui ne repose sur aucune donnée précise, est de pure convention; elle émane de la commission de 1828; sa formule est :

$$\frac{\text{Noir}}{\text{Blanc}} = \frac{3}{2}\,p.$$

p est la pente; si α est l'angle de plus grande pente, on aura :

$$\frac{\text{Noir}}{\text{Blanc}} = \frac{3}{2}\,tg\ \alpha.$$

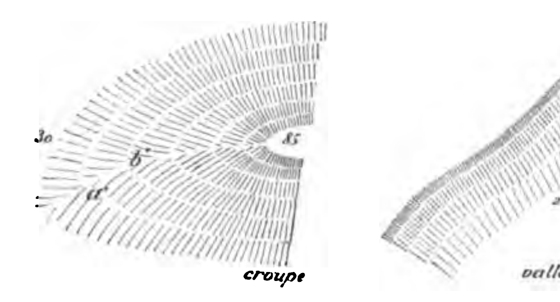
On peut faire, sur l'application de cette formule, les mêmes remarques que celles qui ont été faites à propos de la formule allemande (page 108).

Lorsqu'on emploie les hachures pour exprimer le relief, il est d'usage de ne pas laisser subsister les courbes de niveau que l'on trace au crayon pour l'exécution du dessin et que l'on efface quand les hachures sont terminées.

L'exécution du dessin est soumise à des règles précises dans les détails desquels il serait trop long d'entrer. Un coup d'œil sur les cartes françaises, à la disposition des élèves, en donnera une idée suffisante.

Deux exemples seulement, pour deux mouvements de terrain importants : la croupe et la vallée.

« Quand on a à représenter une ligne de faîte ou un thalweg,



» on opère à la manière ordinaire jusqu'aux hachures extrêmes » *ab, a'b';* on remplit l'angle compris entre elles par des » hachures curvilignes dont la convexité est tournée du côté de » la ligne de faîte ou du thalweg et qui vont en s'effilant suivant » la direction de cette ligne. On doit éviter de les faire se cou- » per, sans quoi le terrain présenterait l'apparence d'une » arête vive [1]. »

Lecture des cartes françaises. — La France a adopté une même équidistance verticale *graphique* [2] pour toutes ses cartes

---

[1] Nous recommandons : *Petite bibliothèque de l'armée française. Cours de topographie,* 2 vol., 30 centimes le vol., par A. Laplaiche. — Charles Lavauzelle, Paris.

[2] L'équidistance graphique est la longueur qui représente l'équidistance naturelle à l'échelle de la carte.



militaires. Cette équidistance graphique est de 0m00025, ou $\frac{1}{4}$ millimètre.

Pour avoir la pente d'un terrain dont le relief est exprimé par des hachures françaises, on mesure au double décimètre, sur la carte, la largeur de la bande de hachures au point que l'on considère.

$$\text{La pente} = \frac{\text{Équidistance verticale}}{\text{Distance horizontale}} = \frac{0{,}00025}{\text{longueur de la hachure.}}$$

Il n'est pas nécessaire de connaître l'équidistance *naturelle* des plans horizontaux qui ont servi à la construction des hachures.

Si l'on voulait déterminer l'équidistance naturelle pour un type de carte, soit la carte d'état-major de France au 80.000e, il suffirait de calculer ce que représente un quart de millimètre à l'échelle de la carte.

$$0^{m}00025 \times 80.000 = 20 \text{ mètres.}$$

L'équidistance naturelle est donc de 20 mètres, comme pour notre carte réglementaire au 160.000e.

REMARQUE. — En pays plat, l'équidistance graphique est souvent réduite à $\frac{1}{8}$ millimètre, en pays de montagne au contraire elle est parfois portée à $\frac{1}{2}$ millimètre, ce qui correspond à des équidistances naturelles de 10 et de 40 mètres. « La méthode » indiquée ci-dessus n'est donc pas d'une application très » pratique pour la carte dont il s'agit, et dans beaucoup de cas » on ne pourra se faire une idée de la valeur des pentes que par » la teinte des hachures » (*Aide-mémoire de l'officier de l'état-major en campagne,* Paris 1886, page 161).

Systèmes divers.

Le général Desprez avait proposé un système très rationnel qui ne fut pas adopté par la commission française de 1828.

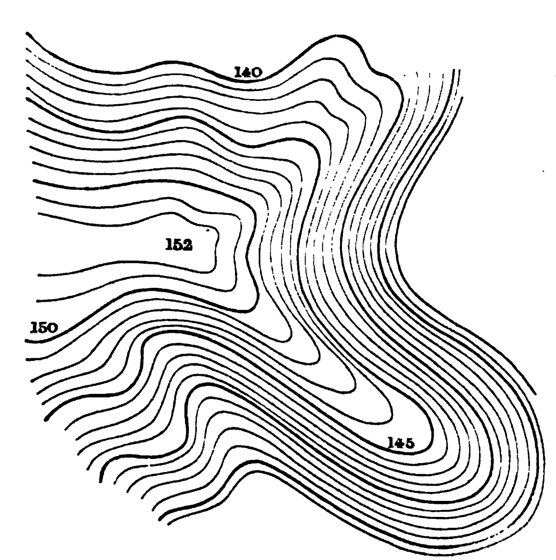
Dans ce système, les sections horizontales équidistantes étaient



tracées à *l'encre* sur toutes les cartes topographiques, quelle que fût leur échelle, et les petites hachures *normales* aux courbes de niveau étaient remplacées par de longues hachures *parallèles* à ces courbes.

Ces hachures n'étaient pas continues, comme les sections horizontales, mais interrompues et d'autant plus rapprochées qu'elles se rapportaient à des pentes plus rapides.

Cartes belges. — Nos cartes au 20.000ᵉ à l'équidistance de *un mètre,* avec le trait des courbes de cinq en cinq mètres renforcé, représentent assez bien le système proposé par le général Desprez; seulement, les courbes intermédiaires, entre les courbes de cinq en cinq mètres, ne sont pas des hachures telles que le proposait ce général, et le but que l'on veut réaliser, en renforçant le trait des courbes de cinq en cinq mètres, n'est pas d'arriver à produire une teinte plus ou moins foncée, mais de faire ressortir quelques courbes que l'on peut filer avec facilité à travers les détails planimétriques et de rendre ainsi la lecture des cartes moins laborieuse.



Les courbes renforcées font très bien ressortir les mouvements de terrain (p. 83).

Cartes suisses. — La Suisse possède des cartes de toute beauté : sa carte au 100.000ᵉ, comme exécution et comme effet d'opposition d'ombre et de lumière, est incomparable. Le

général Dufour, qui en a dirigé l'exécution, a choisi l'hypothèse de la lumière oblique à 45°. Cette hypothèse était particulièrement favorable pour exprimer le relief des parties très montagneuses du pays, mais elle convient beaucoup moins, comme il est facile de le constater, aux plaines de la Suisse.

La carte de Dufour est d'une clarté admirable, facile à lire, malgré ses teintes souvent très foncées; elle donne, en pays de montagnes, un sentiment de relief des plus saisissants, elle parle aux yeux. Voyez les *feuilles* IX et XVIII.

La nouvelle carte au 25.000e et au 50.000e est fort remarquable : c'est une carte exprimant le relief au moyen de courbes de niveau cotées en mètres, avons-nous dit. Les courbes sont en bistre, les eaux en bleu et le reste en noir. Voyez les planchettes *Brienz*, *Mischabel*, *Kippel* et *Saint-Gothard* au 50.000e et Bussigny au 25.000e.

Comparez, au point de vue de l'expression du relief par les courbes et de l'expression du relief par les hachures dans l'hypothèse de la lumière oblique, les planchettes *Saint-Gothard* et *Kippel* à la *feuille XVIII* dont elles font partie. Placez ensuite à côté de ces cartes suisses la feuille française *Briançon*, exprimant le relief par des hachures dans l'hypothèse de la lumière zénithale. — La feuille Briançon est citée à juste titre, en France, comme un chef-d'œuvre de la gravure nationale.

Constatons, en rendant hommage aux hommes clairvoyants qui ont imprimé la direction aux premiers travaux topographiques en Belgique, que la Suisse, comme l'Allemagne et la France, a adopté les courbes de niveau pour ses cartes nouvelles.

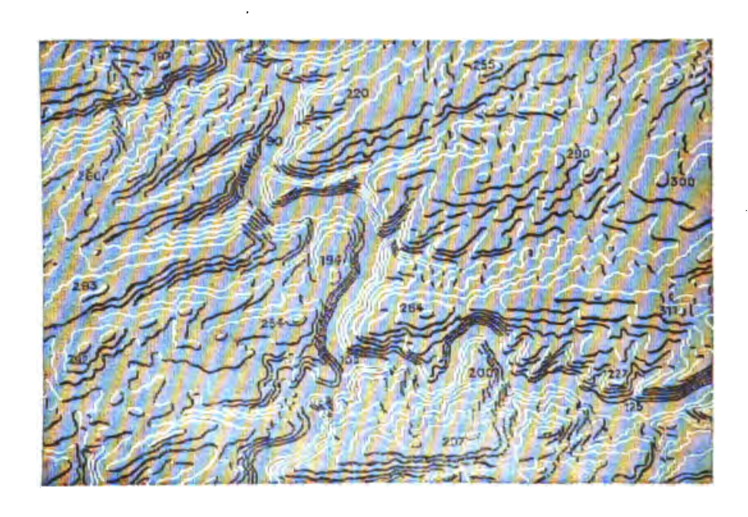
Les avantages de l'expression du relief par les courbes hypsométriques, si longtemps contestés, sont donc reconnus partout aujourd'hui.

Méthode du capitaine J.-C. Henry, du 11e de ligne, détaché à l'Institut cartographique militaire.

« On peut représenter graphiquement et à une échelle voulue le relief d'un terrain donné dont on a relevé les courbes de niveau.

» Les courbes de niveau d'une carte limitent à diverses altitudes des plans superposés, généralement équidistants. Les

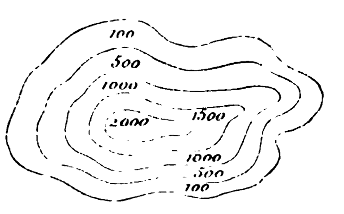
espaces compris entre les divers plans et leur projection sur le plan précédent, forment une série de solides droits dont la superposition donne le relief dit *à gradins*. Le relief est d'autant plus apparent que la hauteur donnée aux solides est plus grande.



» Pour figurer graphiquement le relief d'un terrain, il suffit d'en donner l'image d'après un relief de ce terrain que l'on aurait construit à gradins et que l'on aurait éclairé obliquement, par la gauche, sous un angle de 45°. Sur un fond en demi-teinte (représenté dans la figure par un grisé), on trace les courbes de niveau de la carte au moyen d'un trait d'une épaisseur égale à l'équidistance réduite à l'échelle, en blanc pour les parties éclairées, en traits foncés pour les parties opposées à la lumière. Cette épaisseur du trait des courbes, dans le dessin, ne doit être maintenue que dans les parties frappées normalement par la lumière et dans les parties qui lui sont totalement opposées. Dans les parties des courbes que la lumière frappe obliquement, le trait doit aller en diminuant d'épaisseur suivant le plus d'obliquité des rayons, tant dans la partie claire que dans la partie sombre.

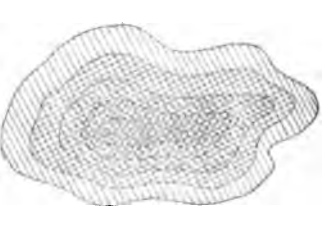
» On peut doubler, tripler, etc., l'effet du relief en doublant, triplant, etc., la grosseur du trait des courbes dans son plein. »

Méthode des teintes hypsométriques. — On renforce ou on diminue les teintes à mesure qu'on s'élève en superposant des couches de couleurs ou des couches de hachures en sens divers. Il n'est plus question d'effets d'ombre et de lumière, ni de pente; c'est un procédé tout de convention pour indiquer les différences d'altitude.



Un exemple fera comprendre :

Soit une montagne représentée par des courbes de niveau : une teinte unique est d'abord étendue sur la surface entière enveloppée par la courbe 100, une seconde couche recouvre la surface enveloppée par la courbe 500 (double ainsi la teinte); puis le même procédé est appliqué à la surface enveloppée par la courbe 1000, etc.; on obtient de cette façon une progression constante d'intensité de teintes.



Le système des hachures est analogue.

Cette méthode s'emploie exclusivement dans la construction des cartes murales, elle est trop grossière pour les cartes topographiques.

Remarque. — On peut cependant en tirer un excellent parti pour faire ressortir les lignes de faîte, lignes si importantes pour le militaire : on teinte, comme nous l'avons dit (renvoi 1, page 80), les surfaces comprises entre quelques courbes fermées, en les hachurant grossièrement au moyen d'un crayon brun ou bistre.

Les vallées, marquées par les cours d'eau, et les lignes de faîte, définies par les teintes brunes ainsi produites, déterminent alors nettement les principaux mouvements du sol.

Chaque fois que nous assistons à des manœuvres, nous employons ce procédé et nous nous en trouvons fort bien.

Méthode des teintes et des courbes. — On remplace les hachures françaises ou allemandes par des teintes plus ou moins foncées; c'est un véritable lavis, donnant des teintes dégradantes, analogues aux teintes produites par les hachures. On arrive par ce système aux mêmes effets d'ombre et de lumière que par les hachures, et la planimétrie reste plus facile à lire.

Les cartes du grand état-major allemand, pour la guerre de 1870-71, sont teintées de cette façon; la carte au 50.000^e française, — voir le spécimen Plombière, — également.

Carte réglementaire au 160.000^e.

Bien qu'une nouvelle édition soit en usage depuis le mois de juillet 1894 (voyez page 120), nous croyons utile de reproduire *in extenso* la *Note* que fit paraître l'Institut cartographique militaire, le 29 septembre 1884.

La *Note* de 1884, la *Note* de 1894, les renseignements que nous avons donnés pages 37 et 44 et la légende des signes conventionnels que porte chaque exemplaire, constitueront une étude complète de notre *Carte réglementaire*.

Note de l'Institut cartographique militaire sur la carte au 160.000^e (édit. de 1884).

« La nouvelle édition [1] de la *carte à l'échelle du 160.000^e*, en six feuilles, est destinée à remplacer la même carte en quatre feuilles, publiée en 1877.

» Elle sera mise prochainement en circulation dans l'armée, dans les divers services administratifs et dans le public.

» Cette carte est la première publication de l'Institut cartographique militaire qui présente d'une manière complète l'état actuel des chemins de fer, routes et chemins pavés, canaux, cours d'eau, etc. Il a été possible d'y tenir compte, à cet égard, de la revision topographique exécutée sur le terrain par des officiers topographes, et qui comprend aujourd'hui les $\frac{48}{100}$ de la surface du territoire. Pour la partie du pays non comprise encore dans les opérations de revision, on y a renseigné, à peu d'exceptions près, toutes les indications recueillies par l'Institut cartographique en 1883 et 1884, avec

[1] Il s'agit de l'édition de 1884, remplacée en 1894.



le concours des ingénieurs et commissaires-voyers des différentes provinces.

» La division adoptée est en six feuilles, réalisant, entre autres avantages, celui de réunir sur une feuille les deux villes de Bruxelles et d'Anvers.

» Chaque feuille est composée de 18 rectangles correspondant chacun, sur le territoire belge, à l'une des 72 feuilles qui constituent la carte gravée à l'échelle du 40.000e. Chacune de ces dernières feuilles comprenant 8 planchettes de la carte en couleurs ou en noir à l'échelle du 20.000e, on voit que la nouvelle division permet la comparaison immédiate et facile des publications de l'Institut aux trois échelles du 160.000e, du 40.000e et du 20.000e.

» Cette comparaison est assurée, d'ailleurs, par les parties d'un tableau d'assemblage à l'échelle du 1.600.000e collées au verso du premier rectangle de chaque feuille, ainsi que par le tableau d'assemblage, à l'échelle du 800.000e, avec indication des limites de provinces et d'arrondissements administratifs, qui remplace l'ancien titre à l'angle inférieur gauche de la carte.

» L'expression du relief du terrain a été obtenue en combinant un travail au crayon chimique, exécuté dans l'hypothèse de la lumière oblique venant du Nord-Ouest, sous un angle de 45°, avec la représentation des courbes de niveau à l'équidistance de 20 mètres.

» De cette manière, le caractère artistique et le caractère géométrique se réunissent pour produire et pour accentuer l'effet du relief. Cette application spéciale des principes de la méthode intuitive s'écarte franchement des règles suivies jusqu'ici, notamment dans la cartographie française; elle met clairement en lumière quelques traits intéressants de la constitution physique du pays.

» Elle n'a qu'un seul inconvénient, c'est de rendre peu apparentes les très petites écritures qui se trouvent dans certaines parties compliquées du pays de Herve, de la vallée de la Meuse et du Luxembourg. On espère, dans les tirages ultérieurs de la carte, atténuer cet inconvénient. La difficulté de lecture signalée disparaît du reste complètement lorsque, pour les cartes à réunir en un seul panneau, on se contente d'épreuves avec relief au crayon chimique sans courbes de niveau.

» On conçoit que, dans une impression à la presse mécanique et à un grand nombre d'exemplaires, on ne puisse obtenir, dès la première fois, une complète uniformité d'impression chromolithographique d'une carte en plusieurs feuilles. Pour les impressions ultérieures, on profitera de l'expérience acquise par le premier tirage, et qui a fait reconnaître quelles sont les pierres de chaque feuille dont il convient de forcer ou d'atténuer l'encrage.

» La nouvelle édition de la carte au 160.000e a été constituée au moyen des anciennes pierres gravées en 1859. Elle a exigé environ deux ans et demi de travail, et a nécessairement occasionné une dépense assez considérable. Elle paraît appelée à rendre des services très sérieux, et démontre à

l'évidence la possibilité, parfois encore contestée, de tenir convenablement au courant une carte gravée sur pierre. »

La Cambre, le 29 septembre 1884.

Note explicative au sujet de la carte à l'échelle du 160.000ᵉ, édition de 1894.

« L'Institut cartographique militaire mettra prochainement en circulation une nouvelle édition de la *Carte de la Belgique à l'échelle du* 160.000ᵉ, en six feuilles, dont l'édition précédente, qui porte la date de 1884, a été imprimée pour la dernière fois, avec certaines additions, au mois de novembre 1892.

» La *gravure* des quatre grandes pierres qui constituent le trait proprement dit de cette carte a été terminée en 1859. Ces pierres, très fréquemment complétées ou modifiées depuis lors, ont fait l'objet d'une *mise à jour* récente, dans laquelle il a été tenu compte de la *revision topographique* sur le terrain que les officiers de l'Institut exécutent, chaque année, pour la dixième partie environ de la surface du territoire. Indépendamment des éléments recueillis par les officiers reviseurs jusqu'en 1893, la mise à jour en question a utilisé les *renseignements administratifs* que l'Institut cartographique peut se procurer — en tout temps — pour ce qui concerne les chemins de fer ordinaires ou vicinaux, les voies de communication pavées ou empierrées, les grands travaux militaires ou publics, la construction de canaux et les redressements de cours d'eau.

» La confection du *canevas de la carte* remonte à une époque où le Dépôt de la guerre n'était pas encore en possession des données géodésiques rigoureuses qui ont été déduites de la triangulation du Royaume; ce canevas ne pouvait être modifié. Mais, de même que dans l'édition de 1884, l'impression en six feuilles a eu pour but de mettre la carte au 160.000ᵉ en corrélation, d'une part avec la subdivision de la carte gravée en 72 feuilles à l'échelle du 40.000ᵉ, et d'autre part avec le tableau d'assemblage des 427 et 430 planchettes au 20.000ᵉ publiées respectivement en couleurs et en noir. A cet effet, les six feuilles du 160.000ᵉ — dont chacune est pourvue, quand il y a lieu, de bandes de raccordement de 5 millimètres de largeur — renseignent, au moyen de petites croix, les *sommets* de 72 feuilles de la carte au 40.000ᵉ. Des repères marqués sur les traits inférieurs des cadres permettent de prolonger ce réseau, et de décomposer chaque feuille en 18 rectangles, ayant 20.000 mètres du Sud au Nord, 32.000 mètres de l'Ouest à l'Est, et, par conséquent, une surface de 64.000 hectares. Des 108 rectangles que forme ainsi la carte entière, 72 seulement interviennent dans la représentation de notre territoire, dont la superficie est de 2.945.590 hectares d'après le cadastre (chiffre constaté au 31 décembre 1890), et de 2.960.240 hectares d'après des mesures planimétriques soigneusement exécutées à l'Institut.

» Lors donc que la carte au 160.000ᵉ aura été subdivisée comme il vient

d'être dit — ce qui est surtout à conseiller pour la coller sur coton à format portatif — la comparaison s'établira directement, et en ordre principal, entre ses différents rectangles et les 72 feuilles gravées au 40.000e. Comme, d'autre part, chacune de celles-ci comprend 8 planchettes au 20.000e, numérotées $\frac{1,\ 2,\ 3,\ 4}{5,\ 6,\ 7,\ 8}$, et qu'il est toujours facile de subdiviser un des rectangles du 160.000e en huit parties, on ne sera jamais embarrassé pour reconnaître, en ordre subsidiaire, à quelle partie de la nouvelle carte correspond une planchette au 20.000e déterminée. En définitive, le mode de subdivision adopté assure la comparaison des publications au 160.000e, au 40.000e et au 20.000e.

» Cette comparaison est facilitée d'ailleurs par un *tableau d'assemblage* remplaçant l'ancien titre de la carte en quatre feuilles, et faisant connaître, entre autres indications, les parties de « planchettes frontières » au 20.000e, en couleurs (——●) et en noir (——►), que des convenances d'impression ont conduit à publier réunies à l'une des planchettes voisines.

» Relativement à l'*orthographe* des dénominations géographiques, la nouvelle édition marque un progrès considérable sur les précédentes, en ce sens que les *noms des communes* — et ceux-là seuls du reste — ont reçu dans la carte l'orthographe qui leur est actuellement assignée dans les grandes publications de l'Institut cartographique aux échelles du 40.000e et du 20.000e, ainsi que dans la petite carte à l'échelle du 320.000e (édition de 1894). Les très nombreuses questions se rapportant à cet ordre d'idées ne pourront recevoir de solution officielle qu'après que le gouvernement se sera prononcé sur les propositions qu'élabore, depuis 1886, la Commission de l'orthographe des noms des communes et des hameaux. Le travail de cette Commission sera terminé prochainement, en ce qui est relatif aux noms des communes.

» Quoi qu'il en soit, et pour des raisons qu'il n'y a pas lieu d'exposer ici, chaque exemplaire de la nouvelle carte au 160.000e est accompagné d'une *liste alphabétique des noms des* 2603 *communes* existantes à la date du 15 avril 1894. Cette liste est destinée à remplacer toutes celles dont l'Institut cartographique a fait précédemment usage. Elle n'a aucun caractère officiel, pas plus que n'importe quelle nomenclature analogue publiée jusqu'à ce jour; mais elle permet de reconnaître pour chaque commune, au moyen d'un système parfois assez compliqué de renvois et de notations, le motif ou les motifs qui ont déterminé l'Institut à donner la préférence, dans tous les cas douteux, à telle orthographe plutôt qu'à telle autre.

» Cette liste a été composée typographiquement de manière que, pliée en seize, elle ait précisément les dimensions auxquelles se réduit une feuille de la carte collée sur coton à format portatif. Des réductions photolithographiées, incontestablement plus difficiles à lire que la grande liste, mais non moins utiles, seront également mises à la disposition du public.

» A l'égard des *signes conventionnels,* l'édition nouvelle diffère de celles qui l'ont précédée.

» C'est ainsi qu'on a jugé opportun d'accentuer plusieurs espèces de limites renseignées primitivement, mais d'une manière insuffisante, au trait de la carte. Dans cet ordre d'idées, on a renforcé les *limites de l'État* ainsi que les *limites de province* au moyen de liserés imprimés en teinte neutre. D'autre part, on a substitué aux anciennes *limites de commune* — qu'il était difficile et quelquefois impossible de suivre — des pointillés de même couleur que les liserés dont il vient d'être question. Sauf des cas exceptionnels, comme il s'en produit pour quelques enclaves de territoires communaux, ce mode figuratif ne comporte plus d'incertitudes de tracé. Les *limites des 41 arrondissements administratifs* ont été conservées au trait de la carte, de sorte qu'elles sont, en réalité, accentuées par le pointillé des limites de commune.

» Les limites des 26 arrondissements judiciaires, celles des 215 cantons actuels de justice de paix, enfin celles de 319 cantons de milice n'offrent pas le même intérêt général que les limites de commune; elles n'ont pas été renseignées. Lorsqu'il faudra les connaître, il conviendra de recourir à des cartes particulières, à l'échelle du 320.000e, où l'Institut cartographique les a représentées plus clairement qu'on n'aurait pu le faire dans la carte au 160.000e, très chargée déjà d'indications d'autre nature.

» La nouvelle édition distingue les *chemins de fer à double voie* des *chemins de fer à simple voie,* en employant pour ces derniers seulement l'ancien figuré conventionnel. Elle différencie également, dans les limites du territoire belge, les *chemins de fer exploités par l'État* et les *chemins de fer des Compagnies,* le trait figuratif des premiers restant seul continu, tandis que celui des seconds est interrompu de distance en distance. Les *chemins de fer vicinaux* ainsi que les *tramways à vapeur* sont renseignés par des tracés relativement peu compliqués, susceptibles d'exprimer les conditions d'établissement de ces moyens de communication si multipliés aujourd'hui.

» Quant aux *routes,* leur ancien signe conventionnel — double trait noir encadrant un assez large trait rouge — n'a pas été modifié. Par contre, on s'est borné à indiquer les *chemins pavés ou empierrés* au moyen d'un simple trait rouge, et l'on a fait disparaître ainsi la surcharge que certains figurés, imprimés en noir, produisaient dans les éditions précédentes. Ce mode de représentation a réclamé un travail supplémentaire devant lequel on avait reculé jusqu'à ce jour; la carte y a gagné en simplicité, en clarté et en élégance. Une *catégorie spéciale de chemins,* qui ne sont pas dans les conditions ordinaires de viabilité des chemins pavés ou empierrés, et qui néanmoins ne sont pas des chemins de terre proprement dits, a été définie graphiquement au moyen de traits interrompus de couleur rouge. Ont été classés dans cette catégorie : 1° des chemins en bon état, mais appartenant à des particuliers et que ceux-ci peuvent interdire; 2° des voies de communication ayant été pavées ou empierrées, mais qui ne sont plus entretenues; 3° des chemins de terre améliorés aux frais des riverains; 4° des chemins sur le roc, dont souvent la viabilité laisse à désirer. Les *chemins de terre*

continuent d'être figurés par de petits traits interrompus, imprimés en noir; mais, pas plus que dans les éditions antérieures, ils n'ont été représentés tous.

» Les *bois* — que la légende subdivise en « futaie » (y compris les taillis), et en « sapins » (ou plutôt résineux, dans lesquels le pin constitue l'essence dominante) — ont été soigneusement « mis à jour. » Ils ont été imprimés en vert, et ne font plus, comme auparavant, partie intégrante du trait noir de la carte. Cette innovation, qui comporte une augmentation du nombre des tirages, a donné à l'ensemble du travail plus de clarté, et en même temps plus de légèreté. Elle a permis, en outre, de créer une nouvelle catégorie d'exemplaires qui seront imprimés non seulement sans bois, mais sans prairies (comme il va être indiqué), et qui serviront avantageusement, à l'avenir, de canevas pour la confection de minutes ou pour la publication de certaines cartes.

» Relativement aux *prairies*, on remarquera qu'elles ont été supprimées dans la légende et que les feuilles n'indiquent plus leur répartition topographique. L'ancien figuré conventionnel qui leur était attribué au trait imprimé en noir, rendait fort difficile la lecture de nombreuses écritures, inconvénient qu'il importait d'éviter notamment en ce qui concerne le pays de Herve.

» Comme pour les éditions de 1875 et de 1884, on a spécialisé par des tirages en bleu les divers *renseignements hydrographiques*, et par un tirage en bistre la représentation du relief du terrain, à laquelle concourent des *courbes de niveau*, des *lignes de partage des eaux* et des *cotes de sommets*.

» Le *zéro du nivellement* coïncide avec le niveau des basses mers à Ostende; il est inférieur de 2m012 au niveau moyen de la mer, déduit de courbes fournies par le maréographe Van Rysselberghe (1878-1885) et d'observations faites au médimarémètre Lallemand (1891-1893).

» L'*équidistance* des courbes de niveau est de 20 mètres; il a paru cependant utile d'indiquer en traits interrompus la courbe de 5 mètres, limite approximative de l'inondation qui couvrirait notre pays si la mer rompait ses digues. Les *courbes bathymétriques*, peu importantes, sont imprimées en noir.

» L'*accentuation du relief*, introduite pour la première fois dans certaines catégories d'exemplaires de l'édition de 1884, est réalisée au moyen d'ombres modelées au crayon chimique dans l'hypothèse de la lumière oblique, l'hypothèse de la lumière directe ayant été écartée comme faisant double emploi avec le tracé des courbes de niveau. Cette accentuation a été maintenue pour les exemplaires de la nouvelle édition à distribuer aux officiers de l'armée ainsi qu'aux principales autorités, institutions, etc.; mais les nouveaux tirages du 160.000e comprendront, de même que les précédents, un certain nombre d'exemplaires *avec courbes sans ombres, sans courbes et avec ombres* et enfin *sans courbes ni ombres*. »

La Cambre, le 1er juin 1894.

Ce qui frappe surtout, lorsque l'on compare l'édition de 1894 à celle de 1884, c'est d'abord l'harmonie qui règne dans l'ensemble des teintes de la nouvelle édition, quoique cependant ces teintes se différencient vigoureusement quand on examine la carte dans ses détails; c'est ensuite l'aspect si sombre, si embrouillé que donnent à l'ancienne édition ses ombres trop fortes, ses prairies et ses bois, exprimés par les signes noirs du 40.000ᵉ, et le fond agréablement clair de l'édition de 1894, dans laquelle on a supprimé les prairies, assez inutiles à cette échelle, et pour laquelle on a adopté les signes conventionnels du 20.000ᵉ, en vert un peu plus pâle, pour les bois. La teinte des bois n'est ni trop forte ni trop faible, elle charme la vue, fait très bien ressortir les parcelles boisées et les régions forestières sans masquer les autres détails de la carte.

Signes conventionnels

Routes et chemins

au 160.000ᵉ —	Édition de 1894	— au 320.000ᵉ
	Route	
	Chemin pavé	
	Chemin de terre	
Etat. Ston Compagnie	*Chemin de fer à 2 voies*	Etat Ston Compagnie
id. Halte id.	*Chemin de fer à 1 voie*	id. Halte id
Voie large Ston Voie étroite	*Chemin de fer vicinal*	Ston

Voyez page 122 pour le 160.000ᵉ (traits rouges) et page 125 pour le 320.000ᵉ.

Carte des chemins de fer, routes et voies navigables au 320.000ᵉ.

La carte au 320.000ᵉ est une belle et bonne carte générale de la Belgique, d'un format très maniable, très claire, fort agréable à consulter. Les eaux sont en bleu. Nous avons déjà parlé de cette carte, page 37; elle peut, beaucoup plus facilement que le 160.000ᵉ, dont les dimensions sont déjà très grandes, trouver place dans un appartement. Elle ne coûte presque rien, 1,50 fr. pour les officiers.

Tout officier, dans son intérêt personnel, devrait la posséder, appendue à un mur de son cabinet de travail : on n'apprend et l'on ne retient surtout la géographie de son pays qu'en étudiant constamment la carte. L'étude d'une carte que l'on a toujours à sa portée immédiate, toujours sous les yeux, se fait machinalement, sans efforts, agréablement, c'est même une distraction dans des moments de désœuvrement ou d'ennui.

Une carte au 320.000ᵉ sera appendue dans la salle d'études. La légende des signes conventionnels ne demande aucune explication.

« L'édition de 1894 a été mise en concordance avec la *Carte de la Belgique à l'échelle du 160.000ᵉ* qui a été distribuée à l'armée dans le courant de cette année.

» Elle distingue, comme la carte au 160.000ᵉ, les *chemins de fer à double voie* des *chemins de fer à simple voie*, pour lesquels l'ancien figuré conventionnel a été conservé. Elle différencie également, dans les limites du pays, les *chemins de fer exploités par l'État* et les *chemins de fer des Compagnies*, ceux-ci étant représentés par un trait fort, interrompu de distance en distance.

» Les *chemins de fer vicinaux*, les *routes de l'État ou provinciales*, les *cours d'eau navigables ou non navigables*, les *canaux*, ont conservé leurs anciens signes conventionnels.

» On a jugé opportun d'indiquer, au moyen de lisérés imprimés en rouge, la division du territoire en districts et en cantons militaires. — Les districts militaires ont été différenciés par des teintes; les chefs-lieux de district ont été encadrés d'un trait rouge et les chefs-lieux de canton ont été soulignés d'un trait rouge.

» Le *canevas*, imprimé en gris, du tableau d'assemblage des cartes de la Belgique au 40.000ᵉ et au 20.000ᵉ, complète la carte. Les numéros des 72 feuilles de la carte gravée à l'échelle du 40.000ᵉ ont seuls été renseignés; mais chacune de celles-ci comprenant 8 planchettes au 20.000ᵉ numérotées

1, 2, 3, 4,
5, 6, 7, 8, il sera toujours facile de déterminer la partie de la carte qui correspond à l'une des 427 planchettes en couleurs ou des 430 planchettes en noir, au 20.000ᵉ.

» Les parties des planchettes que des convenances d'impression ont conduit à publier réunies à l'une des planchettes voisines ont été marquées du signe ——● pour les planchettes en couleurs et du signe ——➤ pour celles en noir.

» Une *liste alphabétique des 2603 communes* existantes à ce jour a été répartie sur les marges latérales de la carte. Elle fait connaître l'orthographe que l'Institut cartographique admet actuellement dans ses cartes aux diverses

échelles, ainsi que le numéro de la planchette où se trouve représentée la principale agglomération bâtie de chaque commune. Ce dernier renseignement permet de trouver rapidement sur la carte une commune quelconque.

» Un système de notations et de renvois a pour objet de fixer les idées sur le motif ou les motifs ayant fait donner la préférence, dans tous les cas douteux, à telle orthographe plutôt qu'à telle autre. Les divergences entre la liste en question et le tableau du 31 août 1893 divisant le territoire en districts et en cantons militaires ont été renseignées par un astérisque.

» En vue de la mise sur coton à format portatif, des repères ont été marqués sur les traits intérieurs des cadres. Un petit tableau, placé près des signes conventionnels, indique par un double trait fin, correspondant à ces repères, une subdivision — très recommandée — en 42 rectangles, dont 6, au bas de la carte et de moindre hauteur, comprennent diverses indications relatives à la liste alphabétique. » *(Note de l'Inst. cart. mil. du 11 déc. 1894.)*

Note au sujet de l'exécution lithographique des « Cartes des environs de garnisons » à l'échelle de 40.000e.

« Les cartes des environs de garnisons ont été constituées au moyen d'un ou de plusieurs transports des pierres de gravure de la carte topographique à l'échelle de 40.000e.

» La surface de terrain représentée par chacune d'elles forme un carré de 20.000 mètres du Nord au Sud et de 20.000 mètres de l'Ouest à l'Est. Les dimensions des cartes sont donc, abstraction faite d'un très faible retrait des transports, de 50 centimètres en hauteur et en largeur.

» Les dispositifs qui figurent à l'angle nord-ouest du cadre indiquent les feuilles de gravure, les planchettes et les parties de planchettes composant chaque carte.

» Dans certaines feuilles, la ville de garnison occupe exactement le centre de la surface représentée. Les limites des autres cartes ont été déterminées de manière à éviter les superpositions avec les feuilles voisines ou des lacunes entre les feuilles.

» Chaque carte reproduit le tableau complet des signes conventionnels à l'échelle du 40.000e, et fournit les indications nécessaires au sujet des travaux topographiques et de la publication cartographique.

» Un tableau d'assemblage, publié en feuille séparée à l'échelle du 800.000e, fait connaître la position des trente-trois cartes des environs de garnisons, et renseigne, en outre, les limites des cartes d'instruction des cadres à l'échelle du 20.000e.

» Les transports qui ont servi à l'impression ont été constitués en employant, dans leur état actuel, les pierres de gravure de la carte au 40.000e, dont quelques feuilles ne sont pas encore achevées, mais dont beaucoup d'autres sont publiées depuis plusieurs années. Il en résulte que



certaines cartes de garnisons sont incomplètes, tandis que d'autres ne correspondent plus exactement aux conditions topographiques actuelles. Lorsque ces circonstances se sont produites, il en a été fait mention en marge des feuilles correspondantes. Mais il sera toujours possible d'avoir, suivant le cas, des données topographiques plus détaillées ou plus précises, en recourant aux planchettes chromolithographiées ou zincographiées au 20.000e. La publication des planchettes a marché, en effet, plus rapidement que celle des feuilles gravées au 40.000e; leur mise au courant a été faite, autant que possible, pour chaque tirage, et un certain nombre d'entre elles sont, dès à présent, chromolithographiées ou photogravées en deuxième édition. Toutefois il est à remarquer que les cartes, même les plus récentes, publiées au 20.000e, comportent, pour les nouveaux quartiers de plusieurs villes, une revision dont l'Institut cartographique militaire réunit les éléments.

» Les cartes des environs de garnisons ont été mises à jour, en ce qui concerne les chemins de fer, les stations et les haltes, les canaux, les routes de l'État, les routes provinciales et les chemins pavés ou empierrés, d'après les minutes de la revision topographique sur le terrain pour les parties où cette revision est terminée. Pour le restant du territoire, on s'est servi de renseignements recueillis aux Départements des travaux publics et de l'intérieur.

» Les modifications qu'il convenait d'apporter en conséquence aux transports ayant servi à l'impression ont été généralement effectuées en conservant le trait primitif des feuilles de gravure.

» Il y a lieu de faire, à ce sujet, les observations suivantes :

» Les écritures coupées par les bords du cadre de chaque feuille ont été complétées, suivant l'usage, en lettres filiformes.

» Les limites des planchettes au 20.000e ont été tracées en lignes fines, de manière à se distinguer aisément des méridiens et des parallèles indiqués sur les feuilles complètes de la carte gravée. Ces limites de planchettes se prolongent au delà des bords intérieurs de chaque feuille et s'arrêtent à la ligne fine du cadre extérieur.

» Les limites des cartes d'instruction ont été tracées en lignes un peu plus fortes que les limites des planchettes.

» Pour les chemins pavés qui sont devenus des routes à la suite d'une reprise par l'État ou par les provinces, on s'est borné à renforcer le trait fin du figuré conventionnel primitif.

» Pour les chemins nouvellement pavés ou empierrés, on a changé en trait plein et fort le trait interrompu du figuré primitif.

» Il est à remarquer enfin que l'on a conservé, dans un grand nombre de cas, l'ancienne orthographe des noms de certaines localités, telles que Charleroi, Liège, Tournai, etc.

» La Cambre, le 12 avril 1883. »

Cette notice a un peu vieilli : depuis 1883 d'autres éditions des *Cartes*

des environs de garnisons ont vu le jour; elles sont, à part les dimensions, semblables aux éditions par transport des feuilles ordinaires imprimées aux mêmes dates.

Observations sur la « Carte de service des environs de Bruxelles, » édition de 1894.

« La *Carte de service des environs de Bruxelles* à l'échelle de 10.000e dont l'Institut cartographique militaire vient de terminer l'impression, est destinée à remplacer l'édition de la même carte qui portait la date de 1882. Elle a été mise à jour d'après les dernières opérations de revision sur le terrain et en utilisant les renseignements administratifs les plus récents.

» Elle diffère de la carte de 1882 en ce qu'elle comporte 15 feuilles (chacune de 2.000 hectares) au lieu de 12 feuilles (soit 30.000 hectares au lieu de 24.000), et parce que le trait en a été obtenu au moyen de la « topogravure, » mode de reproduction de dessins, de cartes, etc., que l'on doit à M. le colonel de la Noë [1], et qui fournit des résultats notablement supérieurs aux résultats des procédés au bichromate de potasse ou par gravure photogalvanique, que l'établissement de La Cambre employait avant 1888 [2].

» La carte en question n'a été ni levée sur le terrain au 10.000e ni rigoureusement dessinée à cette échelle. Elle reproduit simplement, à grandeur égale, les dessins manuscrits au 10.000e qui ont constitué la mise au net des minutes levées sur le terrain au 20.000e, et sur lesquels sont actuellement reportées les opérations de revision exécutées par les officiers topographes. On n'ignore pas que c'est en réduisant ces dessins de moitié par la photographie que le Dépôt de la Guerre, dans le principe, et l'Institut cartographique militaire, depuis 1878, ont procédé à la confection des planchettes des cartes topographiques à l'échelle du 20.000e. La représentation graphique réalisée comme il vient d'être dit en ce qui concerne la Carte de service, équivaut donc à celle qu'on pourrait obtenir en agrandissant, au moyen d'un verre grossissant deux fois, certaines planchettes et parties de planchettes au 20.000e. De même les signes conventionnels et les écritures ne diffèrent des signes et écritures adoptés au 20,000e que par l'amplification de leurs dimensions.

» La Carte de service sera néanmoins fort utile dans de nombreuses circonstances. La grandeur de son échelle permet d'y multiplier des indications diverses, dispositions de troupes, tracés ou projets, etc., etc., pour

---

[1] Léon Vidal : *Cours de reproductions industrielles*. Paris, s. d., pp. 78-80.

[2] *Notice sur les cartes, documents et objets exposés au Grand Concours de Bruxelles*, 1888, pp. 12 et 13.



lesquels l'espace serait insuffisant au 20.000e. L'extension de 4.000 mètres qui lui a été donnée vers l'Est se justifie, entre autres motifs, par la situation topographique des casernes d'une partie de la garnison. Enfin la nouvelle publication se rattache à celle du *Plan de Bruxelles* au 5.000e qu'elle complète à certains égards.

» L'édition de 1882 avait été réservée à quelques services spéciaux; M. le Ministre de la Guerre a autorisé la mise en circulation dans le public de la nouvelle carte, qui sera portée au catalogue de vente de l'Institut cartographique militaire [1].

» La Cambre, le 19 avril 1894. »

Plan de Bruxelles au 5.000e. Observations.

« L'Institut cartographique militaire vient de faire paraître une nouvelle édition du *Plan de Bruxelles à l'échelle du* 5.000e, en quatre feuilles, dont la première édition a été publiée en 1881.

» La mise à jour de ce plan s'appuie, d'une part, sur une revision topographique exécutée sur le terrain en 1892, et, d'autre part, sur des renseignements de diverse nature recueillis par voie administrative; elle est donc aussi complète que possible. Quelques modifications à des tracés de rues et plusieurs affectations de bâtiments à des services publics ont été considérées comme effectuées dès à présent, bien que ne devant pas toutes être réalisées à bref délai.

» Le canevas de la carte ayant pour base une triangulation géodésique spéciale ainsi qu'une réduction au pantographe des plans du cadastre, il n'y a pour ainsi dire pas de maison ni de parcelle de terrain dont la position ne puisse être rigoureusement déterminée.

» Le plan sera donc avantageusement consulté dans l'étude de toutes les questions — aujourd'hui si variées et si nombreuses — qui réclament l'emploi d'une échelle presque cadastrale en même temps qu'elles intéressent l'ensemble de l'agglomération bruxelloise.

» Des considérations d'ordre pécuniaire et technique ont conduit à conserver au plan les limites qui lui avaient été assignées en 1881, et qui forment un rectangle utile de 1m20 de hauteur sur 1m00 de largeur (6.000 mètres sur 5.000 mètres, soit une superficie de 3.000 hectares). Il eût

---

[1] Le prix des divers tirages a été fixé comme suit : exemplaire en noir sur papier Japon véritable, fr. 0,80 la feuille (sans réduction); exemplaires sur papier fort, sur papier simili-Japon ou sur papier mince, fr. 0,80 la feuille (avec les réductions ordinaires); exemplaire sur papier fort, impression en bleu, fr. 0,75 la feuille (sans réduction).

été désirable de pouvoir étendre quelque peu ces limites, notamment vers l'entrée du Bois de La Cambre, au delà du Parc du Cinquantenaire et dans la direction de Laeken.

» Quant aux signes conventionnels, on a conservé ceux de la première édition, en y ajoutant de nouveaux figurés concernant les chemins de fer vicinaux ainsi que les omnibus et les trams-cars.

» La publication actuelle diffère, à certains égards, de celle qui l'a précédée.

» En premier lieu, elle est accompagnée d'une liste alphabétique des noms des rues, places, avenues, etc., dressée récemment et qui renvoie à un carrelage de subdivision des feuilles. Cette liste, provisoirement publiée à part, mais disposée de façon à pouvoir être collée sur les marges latérales du plan, sera prochainement imprimée sur ces marges elles-mêmes.

» En second lieu, les tirages qui viennent d'être effectués comprennent trois catégories d'exemplaires fournissant certaines indications spéciales.

» Dans la première catégorie, les limites de commune, tout en figurant en noir au canevas de la carte, sont accentuées au moyen d'un grisé de couleur vermillon; dans la seconde catégorie spéciale, les limites de paroisse sont indiquées par de simples traits, également en vermillon; enfin dans la troisième et dernière catégorie, ces deux systèmes de délimitation se trouvent réunis.

» Relativement au procédé de reproduction des minutes (dressées à l'échelle du 2.500e), la préférence a été donnée au mode opératoire que le colonel de la Noë a fait connaître sous le nom de *topogravure,* et que l'Institut cartographique emploie depuis 1888 pour la nouvelle édition de la carte au 20.000e. Notablement moins coûteuse que la gravure photogalvanique, à laquelle on avait eu recours en 1881, la topogravure a fourni des tracés qui, sans avoir la finesse d'une gravure soigneusement exécutée sur pierre, sont de beaucoup supérieurs aux résultats qu'on obtenait par les procédés photolithographiques en usage il y a quelques années.

» Pour ce qui est des dispositifs ayant servi à l'impression, l'emploi de plaques de zinc mince en remplacement des pierres lithographiques ordinaires, a permis d'augmenter, sans notable surcroît de dépense, le nombre des données exprimées ou mises en évidence au moyen d'impressions particulières. Le plan est ainsi devenu plus expressif et plus facile à lire, tout en fournissant ou en accentuant certaines indications utiles.

» Le prix de vente de 8 francs, qui était celui de la première édition, a été maintenu pour les nouveaux exemplaires avec ou sans carrelage de subdivision et liste alphabétique des rues. Les prix des autres catégories d'exemplaires ont été fixés comme suit : 9 francs pour les exemplaires avec carrelage et liste, qui renseignent, soit les limites de commune, soit les limites de paroisse; 10 francs pour les exemplaires qui fournissent toutes les indications réunies.

» Les réductions indiquées au *Catalogue des publications de l'Institut*

cartographique militaire, sont applicables aux prix de vente du nouveau plan de Bruxelles.

» La Cambre, le 15 juillet 1893.

» N. B. Les exemplaires *in-plano* n'ont pas été rognés, de façon à laisser leurs marges extérieures complètement disponibles pour le collage éventuel de la liste des noms des rues. »

Nous avons fait coller sur coton des feuilles au 40.000^e et des planchettes au 20.000^e, choisies parmi les différents sites caractéristiques de la Belgique; ces spécimens intéressants sont à la disposition des élèves.

Zone maritime, Bas-Escaut, Polders, Pays de Waes, Environs d'Anvers, Campine, Camp de Beverloo, Flandres, Brabant wallon, Hageland, Hesbaye, Hainaut industriel, Entre-Sambre-et-Meuse, Condroz, Pays de Herve, Ardennes, Zone arlonnaise.

Cartes étrangères [1].

Les signes conventionnels de la planimétrie sont à peu près

Signes conventionnels

80.000 *France* — 100.000 *Allemagne*

Route
Chemin pavé
Chemin de terre
Sentier
Chemin de fer
Chemin de fer vicinal

les mêmes qu'en Belgique. La façon dont le relief est exprimé a fait l'objet d'une étude sommaire, pages 103 et suivantes.

[1] Voir autres renseignements, pages 38, 76 et 103.

Les spécimens ci-après désignés, collés sur coton, sont à la disposition des élèves : quelques-uns ont été choisis parmi les feuilles voisines de nos frontières pour rendre les comparaisons avec les cartes belges plus intéressantes et plus faciles.

Allemagne. Cartes d'état-major : Malmedy au 80.000e (Prüsse) ; Luxembourg (Evringen), Coblentz, Nordhausen (type nouveau, relief hachures, eaux en bleu) au 100.000e. Cartes diverses au 25.000e en courbes de niveau.

France. Cartes d'état-major : Paris et Versailles au 40.000e ; Lille, Givet, Arras, Luz et Briançon au 80.000e.

Plombière au 50.000e (courbes de niveau, ombres et couleurs).

Paris au 200.000e.

Feuille no 9, *Mézières*, au 320.000e. (Cette feuille s'étend sur la moitié du territoire belge.)

Carte du Ministère de l'Intérieur : Paris au 100.000e.

Hollande. Cartes d'état-major : Maestricht et Utrecht au 50.000e. Provincie Noord-Holland au 200.000e.

Angleterre. Surrey et Manchester au 10.560e (courbes de niveau) ; Manchester au 33.333e (hachures). Aldershot au 63.360e (hachures).

Suisse. Carte d'état-major : Bussigny au 25.000e ; Brienz, Mischabel, Kippel et Saint-Gothard au 50.000e, — en courbes de niveau et couleurs. Carte de Dufour : feuilles IX et XVIII, au 100.000e, — lumière oblique.

Carte de l'Europe centrale : feuille de Luxembourg au 200.000e.

FIN.

Frs

). – Observations astronomiques faites en 1886 à
888 à Nieuport (1892). (Ces ouvrages forment les

.... 10, »

le base.. 10, »

ès. Chaque province.. 2, »

1 320 000e.. 3, »

ellements de précision..

.... 2, »

.... 1, »

.... 1, »

Dumont, en 9 feuilles.. 40, »

id. id. .... 40, »

1 500 000e (sans réduction).. 2, »

6 feuilles. Par feuille (sans réduction).. 0,50

éunies coûtent in plano frs 7.50; en farde frs 8, » ;
0,75.

it, les ingénieurs, les professeurs, les instituteurs,
nctions, pourront jouir d'une réduction de 50 %.

ations publiques, aux établissements d'instruction
M. le Ministre de la Guerre l'autorisera.

l que soit le montant de leurs demandes.

Secrétaire-comptable de l'Institut cartographique

PREMIÈRE PARTIE.

TABLE DES MATIÈRES.

COURS

DE

TOPOGRAPHIE

PAR

N. STROOBANTS
Capitaine-Commandant d'Infanterie
Adjoint d'État-major; Professeur à l'École militaire

DEUXIÈME PARTIE

Topographie : Instruments et opérations

3me ÉDITION



NAMUR
LIBRAIRIE CLASSIQUE DE AD. WESMAEL-CHARLIER, ÉDITEUR
53, RUE DE FER, 53

1895

A Monsieur l'ingénieur en Chef A. Sarton, hommage bien cordial
N. Stroobants

COURS DE TOPOGRAPHIE

PAR

N. STROOBANTS
Capitaine-Commandant d'Infanterie
Adjoint d'État-major; Professeur à l'École militaire

DEUXIÈME PARTIE

Topographie : Instruments et opérations

3me ÉDITION



NAMUR
LIBRAIRIE CLASSIQUE DE AD. WESMAEL-CHARLIER, ÉDITEUR
53, RUE DE FER, 53

1895

Librairie de Ad. Wesmael-Charlier, éditeur, rue de Fer, 53, Namur.

École militaire.

Les élèves se procurent avant l'ouverture du cours :

1° Un « Tableau d'assemblage des feuilles de la carte de Belgique. »

Ce tableau donne les signes conventionnels adoptés pour la carte au 40.000e. Les élèves tracent à l'encre rouge le méridien 0 et la tangente au parallèle 56 grades, axes de la carte.

2° La feuille de Bruxelles au 40.000e.

3° La planchette d'Uccle au 20.000e (topogravure en couleurs).

4° La carte réglementaire au 160.000e.

5° Un « Programme du levé à la boussole-éclimètre-stadia. »

6° Un « Carnet de nivellement à la boussole-éclimètre. »

7° Une « Table de réduction pour les opérations à la boussole nivelante. »

8° Un « Cahier pour le calcul des différences de niveau. »

9° Un registre pour « Le levé de fortification et nivellements. »

Nous conseillons à chaque élève de se procurer à l'Institut cartographique, et de faire coller sur coton, la feuille au 40.000e et la planchette au 20.000e sur lesquelles se trouve la localité qu'habite sa famille. L'étude de ces feuilles sera pour lui aussi intéressante qu'utile.

Au lecteur étranger à l'École militaire.

Nous supposons, dans ces notes, que la personne qui nous lit possède la feuille de Bruxelles et la planchette d'Uccle, mais une feuille au 40.000e et une planchette au 20.000e quelconques conviennent pour notre étude.

Nous donnons, dans la seconde partie, tous les renseignements désirables en ce qui concerne les programmes, les registres et les tables en usage à l'École militaire.

Un « Tableau d'assemblage des feuilles de la carte de Belgique » est annexé à la première partie. Ce tableau donne la légende officielle des signes conventionnels de la carte au 40.000e et porte, sur ses marges latérales, une liste alphabétique des 2603 communes belges avec indication des feuilles au 40.000e et au 20.000e sur lesquelles on trouve la principale agglomération de la commune.

INTRODUCTION.

La Topographie est une science des plus anciennes : ses origines sont celles de la géométrie.

« Hérodote [1], le premier qui parmi les anciens ait écrit l'histoire en prose, place en Égypte le berceau de la Géométrie. Voici ce qu'il rapporte à ce sujet, d'après ce qu'il avait appris lui-même dans ses voyages à Thèbes et à Memphis :

» On m'assura que Sésostris avait partagé l'Égypte entre tous
» ses sujets, et qu'il avait donné à chacun une égale portion en
» carré, à la charge d'en payer par an un tribut proportionné :
» Si la portion de quelqu'un était diminuée par le Nil, il allait
» trouver le roi, et lui exposait ce qui était arrivé dans sa terre;
» en même temps, le roi envoyait sur les lieux et faisait mesurer
» l'héritage, afin de savoir de combien il était diminué, et de ne
» faire payer le tribut que selon ce qui était resté de terre.
» Je crois, ajoute Hérodote, que ce fut de là que la Géométrie
» prit naissance, et qu'elle passa chez les Grecs. »

» D'après ce récit, c'est une question d'*arpentage* qui aurait donné naissance à la Géométrie, et l'étymologie de ce dernier mot (mesure de la terre) semble justifier cette opinion. Quant à la date de l'origine de cette science, elle ne remonterait qu'à mille ans environ avant l'ère chrétienne. Cette ancienneté ne nous paraît pas suffisante pour expliquer les progrès qu'avait déjà faits l'astronomie théorique du temps de Sésostris.

» Les premières applications de la Géométrie ont donc eu pour but d'évaluer la surface des terrains et de fixer les limites des propriétés particulières. Les opérations mécaniques et les

---

[1] Hérodote naquit en 484 et mourut vers 406 av. J.-C.

méthodes de calcul inventées pour obtenir ce résultat ont constitué l'art de l'arpentage.

» L'Égypte paraît en avoir été le berceau.

» Ce n'était pas tout de fixer d'une manière équitable la *division* des champs entre les différentes familles, il fallait, une fois la répartition opérée, la transmettre d'une génération à l'autre. On n'a donc pas tardé à sentir le besoin de *représenter* graphiquement les formes, les dimensions et les limites des terrains.

» Enfin, pour conduire les eaux à travers les champs, pour fertiliser les terres par des canaux d'irrigation, il a fallu apprécier les *différences de niveau* que présentait le sol. Cette dernière considération était surtout importante pour l'Égypte, dont la fécondité était due aux inondations du Nil.

» Une science complète a donc été créée pour satisfaire à toutes ces exigences : connue aujourd'hui sous le nom de *Topographie,* elle a pour objet de représenter et de décrire toutes les parties qui composent la surface d'un terrain, sous le triple rapport de leur *position*, de leur *étendue* et de leur *relief.*

» La satisfaction des besoins *matériels* ne suffit pas à l'homme : la nature a placé en lui une inquiète curiosité, une soif insatiable de connaissances; à chaque pas que fait son intelligence, il se trouve en présence d'un horizon nouveau; tout progrès pour lui n'est qu'un acheminement vers des progrès ultérieurs.

» Poussé par ce besoin *intellectuel*, l'homme a voulu explorer et connaître toute la surface de la terre, en assigner les dimensions, en déterminer la forme, représenter les contours et la position des continents, des îles, des mers. La Topographie, ainsi étendue à de grandes portions du globe, et même au globe entier, a donné naissance à la *Géodésie* et à la *construction des cartes géographiques (Éléments de Géométrie et de Topographie,* J. LIAGRE). »

Les travaux topographiques les plus remarquables qui ont été exécutés depuis un siècle, sont, pour la plupart, l'œuvre des militaires : ce sont les officiers qui ont construit les belles cartes dont sont dotés presque tous les pays de l'Europe, et l'Institut

cartographique militaire belge brille d'un vif éclat à côté des établissements similaires de nos voisins.

Rien d'étonnant du reste à ce que la Topographie soit devenue une science essentiellement militaire : les sciences *géographiques* et l'art de la guerre ont toujours été étroitement unis; mais, depuis les guerres de la Révolution et de l'Empire, les cartes *topographiques* ont pris une importance qu'elles n'avaient pas eue jusqu'alors.

Avant la Révolution française, les armées marchaient à travers champs, en plusieurs colonnes parallèles et peu séparées les unes des autres; la masse campait sur un espace restreint et tirait ses subsistances de magasins établis à grands frais sur la ligne stratégique.

» Avec les guerres de la Révolution, s'ouvre une ère nouvelle pour l'art de la guerre. Les généraux qui commandaient les armées républicaines, obligés de faire subsister celles-ci au moyen de vivres que pouvait fournir le pays qu'elles traversaient, furent naturellement amenés à conduire leurs troupes dans les villes et les villages où elles pouvaient trouver des subsistances, et, par conséquent, ils leur firent suivre les routes qui relient entre elles les localités.

» En utilisant les voies de communication tracées, l'armée put se mouvoir plus rapidement : elle accrut ainsi considérablement la somme des efforts dont elle était capable, et elle surprit ses ennemis dont elle déjoua les calculs basés sur une activité moindre.

» Mais, pour suivre les routes, on dut restreindre le front des colonnes : l'infanterie se forma sur un front de trois à six files; la cavalerie sur un front de deux à quatre files; les canons et les voitures durent marcher à la file. Pour progresser, l'armée s'étendait donc en profondeur et présentait l'aspect d'un mince ruban plié suivant le caprice des routes. Le déploiement demanda plus de temps et il fallut redoubler de précautions pour en assurer l'exécution. L'importance du rôle de l'avant-garde s'accrut : cet échelon de l'ordre de marche fut renforcé.

» Cette méthode pouvait suffire pour les armées peu nombreuses des premiers temps de la République. Mais la con-

scription, qui venait d'être introduite, augmenta considérablement les effectifs de l'armée. Celle-ci, disposée en une colonne, eût présenté une telle profondeur qu'il eût fallu plusieurs jours pour la déployer [1]. L'ennemi qui aurait eu ses forces concentrées, eût pu la battre en deux ou trois journées, en accablant les fractions éparses qui la composaient, au fur et à mesure qu'elles se seraient présentées sur le champ de bataille.

» On remédia bien vite au danger que créait la dispersion de l'armée en profondeur, en la subdivisant en plusieurs colonnes, fortes d'une division ou d'un corps d'armée et parfois plus, qui suivirent des routes différentes, mais ayant la même direction générale. On s'étendit ainsi en largeur, ce qui permettait d'utiliser plus complètement les ressources en vivres du pays traversé. Mais, de cette manière, le problème qui se posait n'était qu'à moitié résolu; car le tracé des routes est des plus capricieux : tantôt les voies de communication s'écartent les unes des autres, tantôt elles se rejoignent pour s'écarter ensuite de nouveau. Il en résulte que les colonnes qui les suivent se trouvent séparées le plus souvent par des distances très supérieures à leur front de déploiement. En d'autres termes, en remédiant à l'inconvénient de la dispersion en profondeur, on en rencontrait un autre, celui de la dispersion en largeur.

» Pour combattre, les colonnes durent se concentrer sur l'une d'elles, soit en suivant des routes transversales, soit en marchant à travers champs.

» La marche d'une armée présentait, dès lors, une succession de concentrations et d'épanouissements des colonnes, se succédant à des intervalles de temps indéterminés. Les premières s'exécutaient pour livrer bataille; les seconds, pour se remettre en mouvement.

» Dès que les colonnes s'étaient éloignées les unes des autres pour marcher, l'armée se trouvait dans un état de crise; car si,

---

[1] Dans ces conditions, la vie sur le pays eût été souvent impossible; car la queue de la colonne serait venue stationner chaque jour dans des localités qui auraient été occupées les jours précédents par les échelons de tête et où elle n'aurait pas trouvé de quoi vivre.



en ce moment, une des colonnes venait à rencontrer l'ennemi concentré, elle risquait fort d'être écrasée par des forces supérieures avant que les colonnes voisines pussent lui porter secours.

» Un problème nouveau, qui peut s'énoncer de la manière suivante, se posait pour le général en chef : *Se réunir pour combattre et se diviser pour marcher, vivre et reposer* ; problème bien simple en lui-même, mais bien difficile à appliquer avec l'art et l'à-propos nécessaires pour être victorieux.

« L'art de la guerre, a dit Napoléon, est l'art de se diviser » pour vivre et de se réunir pour combattre. » *(Cours d'art militaire,* capitaines d'état-major Dufour et Jeanne, 1893.)

Problème bien simple en apparence, dirons-nous aussi, mais bien difficile à résoudre si l'on ne possède de *bonnes cartes topographiques*.

On s'en aperçut inévitablement aussitôt : la Topographie prit une importance considérable dans les choses de la guerre et la cartographie topographique fit un pas de géant dans la voie du progrès.

L'importance des cartes topographiques n'a fait que grandir avec le développement des voies ferrées; la guerre de 1870, comme la Révolution française, est une époque marquante dans l'histoire de la Topographie, mais avec cette différence qu'à la Révolution on éprouva la nécessité d'avoir des cartes topographiques et qu'en 1870 les Allemands tirèrent tout le parti que l'on pouvait tirer des progrès réalisés en Topographie.

Depuis 1870, la cartographie topographique s'est perfectionnée d'une façon prodigieuse; il suffit, pour s'en convaincre, de jeter un coup d'œil sur les travaux exécutés depuis cette époque en Belgique et dans tous les pays de l'Europe : on peut affirmer qu'aujourd'hui les opérations de guerre, grandes et petites, ne s'étudient, ne se combinent, ne s'ordonnent, ne s'exécutent plus que par les cartes.

Aperçu historique.

Triangulation et Carte de Cassini de Thury, 1745-1776. — Triangulation et Carte de Ferraris, 1770-1777. — La Révolution.

— Le Consulat. — Napoléon. — La Restauration. — Les Cartes en Allemagne. — Depuis 1815 jusqu'à nos jours en Belgique. — Cartes de VAN DER MAELEN, 1825-1830, 1846-1854; travaux du Dépôt de la guerre, travaux de l'Institut cartographique militaire[1].

BUT DU COURS.

Le but du cours est double :

1° Enseigner aux élèves à se servir des cartes topographiques publiées en Belgique et dans les pays voisins;

2° Former des topographes capables d'exécuter des travaux semblables à ceux qui ont permis d'édifier nos cartes.

Les leçons, à ce dernier point de vue, sont une préparation théorique à l'exécution :

a) D'un nivellement au niveau proprement dit;

---

[1] *Notice sur les triangulations qui ont été faites, en Belgique, depuis 1617 jusqu'à nos jours.* Général NERENBURGER. Bruxelles, Hayez, 1856.

Étude historique sur l'exécution de la carte de Ferraris et l'évolution de la cartographie topographique en Belgique. Colonel d'état-major HENNEQUIN. Bruxelles, veuve Vanderauwera, 1891.

Notice sur les cartes agricoles de la Belgique. Major d'état-major HENNEQUIN. Bruxelles, veuve Vanderauwera, 1885, page 59.

Notice sur les travaux topographiques exécutés au Dépôt de la guerre de Belgique. Lieutenant-colonel d'état-major Jules HENRIONET. Bruxelles, A.-J. Bataille, 1876.

Notice sur les travaux topographiques. Capitaine HANNOT. Bruxelles, A. Cnophs, 1881.

Notice sur les travaux de la reproduction de la carte de Belgique au 20.000e et au 40.000e. Capitaine HANNOT, A. Cnophs, 1881.

Rapport sur la cartographie et la topographie à l'Exposition de Paris. Major ADAN. Bruxelles, Mertens, 1878.

Notice sur les cartes, documents et objets exposés par l'Institut cartographique militaire au Grand concours international de Bruxelles en 1888. Bruxelles, Hayez, 1888.

Note sur la participation de l'Instit. cart. milit. à l'Exposition internationale du Livre, à Anvers, en 1890. Bruxelles, Hayez, 1890.

Notice sur les cartes, documents et objets exposés par l'Instit. cart. milit. à l'Exposition d'Anvers, en 1894. Bruxelles, Hayez, 1894.

b) D'un levé de terrain à la boussole-éclimètre dans les environs de Bruxelles;

c) D'un levé de fortifications à la planchette dans le camp retranché d'Anvers;

d) D'un levé de bâtiments.

Les travaux pratiques du cours comportent également des exercices de lecture des cartes sur le terrain; des appréciations de distances à vue et au moyen des télémètres décrits au cours; des reconnaissances topographiques militaires.

DIVISION DU COURS.

I. Construction et lecture des cartes topographiques.
II. Topographie : Instruments et opérations.
III. Reproduction des cartes (cartographie).
IV. Reconnaissances topographiques militaires.
V. Télémétrie.

DEUXIÈME PARTIE.

TOPOGRAPHIE.

> **Pour devenir habile en quelque profession que ce soit, il faut le concours de la nature, de l'étude et de l'exercice.**
>
> **ARISTOTE.**

Topographie signifie description d'un lieu au moyen du dessin.

La topographie a pour objet de représenter, de décrire graphiquement sur un plan, toutes les parties qui composent la surface d'un terrain, sous le triple rapport de leur position, de leur étendue et de leur relief [1].

Faire un levé [2], une planchette topographique, ou lever un plan, c'est effectuer les opérations nécessaires pour construire, sur une feuille de papier, une figure semblable à celle de la projection du terrain sur un plan horizontal, et en exprimer le relief.

L'exécution d'un levé comporte deux opérations : la *planimétrie* et le *nivellement* ou *altimétrie*.

La *planimétrie* mesure dans toutes leurs parties les figures géométriques formées par les limites des détails naturels ou artificiels répandus sur le terrain et les projette sur un plan horizontal; le dessin planimétrique construit sur une feuille de papier les figures géométriques ainsi projetées et *réduites* à l'échelle du levé.

Le *nivellement* détermine en mètres les ordonnées (hauteurs, cotes ou altitudes) des différents points du terrain au-dessus d'une surface de comparaison, et, de cette façon, permet d'exprimer le relief du terrain.

---

[1] Voir 1re Partie, pages 9 et 73.

[2] On peut écrire *levé* ou *lever :* dans les documents de l'École militaire, nous avons trouvé *levé*.



CHAPITRE I.

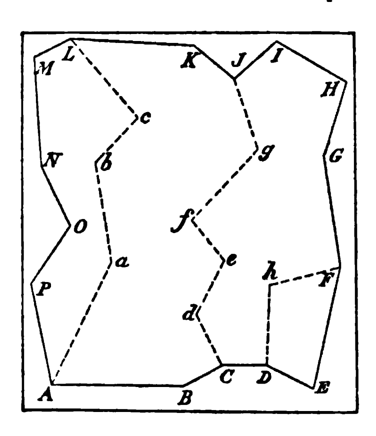
Planimétrie.

Esquisse des opérations planimétriques.

La planimétrie, en dernière analyse, consiste à mesurer sur le terrain des distances et des angles, à les réduire à l'horizon, c'est-à-dire à déterminer leurs projections sur un plan horizontal, puis à reporter ces projections sur une feuille de papier à l'échelle du dessin.

Mais si, pour l'exécution de la planimétrie, on passait du détail au détail, levant et construisant au fur et à mesure qu'ils se présentent les *angles* et les *distances*, les erreurs occasionnées par l'imperfection des instruments, les distractions, le manque de soin, l'inhabileté de l'opérateur iraient se greffant les unes sur les autres et l'on aboutirait à un travail défectueux.

Il est de toute nécessité que l'on opère *méthodiquement*, que l'on procède du grand au petit; que l'on établisse un *canevas* [1], comme pour la construction des cartes (1re Partie, pages 11 et 12).



Un travail préparatoire détermine sur une carte ou sur un croquis à vue, après une reconnaissance faite avec soin sur le terrain, les limites du levé ainsi que les points et les lignes remarquables qu'il renferme. Le topographe choisit ensuite, parmi ces points et ces lignes, les sommets et les

[1] Canevas dans le langage usuel désigne une grosse toile claire sur laquelle on fait de la tapisserie.

côtés d'un polygone ou de plusieurs polygones qui enserrent le mieux possible le terrain à lever. Ce polygone, au levé duquel on procèdera avant tout, servira d'assise, de *base* au travail et porte, pour ce motif, le nom de *polygone de base* ABC ... NOP. Reliant ensuite par des lignes brisées, utiles à la planimétrie et au nivellement, quelques sommets non contigus du polygone de base, on détermine des *traverses* qui forment de nouveaux polygones auxquels on rattache les détails : A*abc*L; C*defg*J; D*h*F.

L'ensemble des figures géométriques formées par le polygone de base et les traverses constitue le *canevas* ou *canevas trigonométrique* du levé.

Une condition essentielle du canevas est de faciliter l'exécution des opérations de détail qui s'appuieront sur lui.

Voir le *Programme du levé à la boussole nivelante*, annexé à cette 2e Partie.

Messieurs les répétiteurs s'assureront de ce que les élèves étudient ce programme, qui doit être connu *à fond* avant l'ouverture des travaux sur le terrain.

Aperçu général des opérations d'un levé.

Tout levé comprend :

A. Un travail préparatoire.

B. Une reconnaissance du terrain, qui fournira au topographe les renseignements nécessaires pour établir son canevas et orienter sa planchette.

C. Des opérations sur le terrain ou levé proprement dit.

D. Un travail de calculs, d'achèvement de la minute et de mise au net à domicile.

Nous allons développer *à grands traits* ces divisions principales d'un levé; nous entrerons dans des détails pour quelques types d'instruments, après en avoir donné la description, la théorie, les conditions de construction et les vérifications.

On pourra prendre, pour exemple complet des opérations que comporte un levé, le programme de notre application pratique à la boussole-stadia-éclimètre.

A. ***Travail préparatoire.*** — Il comprend :

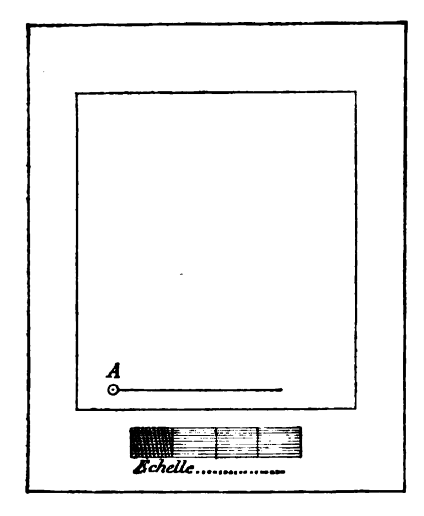
1° Le choix, l'étude, la vérification et la correction des instruments.

Le choix de l'instrument dépend du temps dont on dispose, du degré d'exactitude que l'on veut atteindre, de l'échelle du levé, ..., du motif pour lequel on fait un levé.

Les vérifications et les corrections se déduisent de la description et de la théorie de l'instrument, de l'usage auquel on le destine.

2° La préparation de la *planchette minute,* ou feuille de dessin au brouillon, sur laquelle on travaille en plein air.

Cette feuille est ordinairement collée par les bords sur une planchette en bois, qu'un dispositif spécial permet de fixer sur la tête d'un piquet ou d'un trépied.



Le système le plus élémentaire consiste en une planchette de bois blanc sous laquelle est fixée une pièce de bois plus épaisse, percée d'une mortaise cylindrique destinée à recevoir la tête d'un jalon que l'on enfonce solidement dans le sol.

On trace approximativement les limites du dessin (le cadre intérieur), en s'aidant de documents que l'on possède, tels que cartes, levés antérieurs, croquis à vue, etc.

On construit l'échelle en dehors du cadre. C'est une échelle des transversales, *établie avec le plus grand soin* [1]; on la passe à l'encre de Chine, très pâle pour éviter qu'elle se délaie à l'humidité : le crayon ne convient pas, les traits s'effacent bientôt et ne sont jamais assez nets.

---

[1] 1re Partie, page 29. — *Programme du levé à la boussole,* annexé à cette 2e Partie.

Après la reconnaissance sur le terrain, on marquera le sommet de départ du polygone de base et on tracera la direction du premier côté dont dépendra l'orientation générale du levé.

3° L'établissement d'un carnet de notes, d'inscriptions diverses, dont la forme, les dimensions et le tracé dépendront des instruments : nous en verrons divers spécimens.

4° Le calcul de la *quantité négligeable*.

Nous savons ce que l'on entend par quantité négligeable (1re Partie, p. 30). Il importe de la déterminer avant de commencer les opérations, non seulement pour ne pas s'exposer à commettre des erreurs conséquentes, mais aussi pour ne pas perdre son temps en cherchant à réaliser une exactitude qui n'est d'aucune utilité pratique.

Rappelons que la quantité négligeable est égale à $M \times 0^{m},0001$, $\frac{1}{M}$ étant l'échelle du levé.

B. ***Reconnaissance du terrain.*** — La reconnaissance du terrain est une opération des plus importantes, la rapidité, la bonne exécution, l'exactitude même du levé en dépendent.

Il faut que le topographe connaisse à fond son terrain avant de commencer ses opérations.

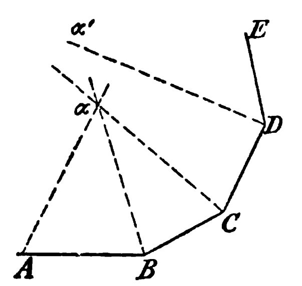
Pendant la reconnaissance, on détermine le canevas du levé : on choisit un polygone ou plusieurs polygones de base dont on reconnaît soigneusement les sommets, qui doivent remplir toutes les conditions désirables pour servir, dans la suite, de point de départ aux opérations de la planimétrie et du nivellement.

On les prend autant que possible sur le terrain naturel, pour qu'ils soient des points acquis au nivellement, mais il faut surtout les choisir au point de vue de la planimétrie que l'on exécute d'ordinaire avant le nivellement.

Les côtés du polygone de base et des traverses doivent établir les directions et les limites des grands éléments du terrain.

Les côtés suivront les voies de communication dont le parcours est le plus commode ; on choisira de préférence les chemins qui passent par les thalwegs et les lignes de faîte, qui longent les propriétés et les cultures importantes, les arrachements de terrain, etc. ; les sommets seront pris aux changements

de direction, aux croisements, aux bifurcations des chemins, aux angles des figures géométriques des grands détails et, autant que possible en vue du nivellement, sur le terrain naturel dans les thalwegs, sur les lignes de faîte et aux changements de pente.



On choisira également des points, des signaux élevés, tels que des clochers, des tours, des cheminées, des arbres, etc. visibles d'un nombre de sommets le plus grand possible.

Ces signaux, que l'on nomme *repères*, permettent de s'assurer à chaque instant de l'exactitude des opérations effectuées.

Exemple. — *On part de* A, *on vise la croix d'une chapelle repère que nous nommons* α. *On trace la direction* Aα. *En* B, *on vise le même repère, on trace* Bα : *le repère* α *est dès lors déjà déterminé sur la planchette par l'intersection des droites* Aα *et* Bα. *En* C, *on lève et on trace* Cα *qui passe par* α *dont la position est dès lors parfaitement établie.*

Mais en D, *la construction de la direction* Dα, *indiquée par l'instrument, donne sur le papier une ligne* Dα' *ne passant pas par* α : *il existe par conséquent une erreur, soit dans les opérations, soit dans la construction.*

Avant de continuer, on recherche cette erreur : on vérifie la construction et on recommence au besoin les opérations depuis C.

On oriente son levé en traçant sur le sol le méridien passant par le point de départ (1re Partie, p. 60) et en levant sa direction par rapport à la base choisie, ou bien en se servant d'une boussole qui donnera l'azimut du côté de départ du polygone de base.

La base doit être assez longue si on veut que le canevas soit bien orienté, il faut en outre qu'elle soit prise sur un terrain horizontal ou tout au moins en pente douce et régulière pour que le mesurage en soit facile à la règle ou à la chaîne.

Il est nécessaire, naturellement, que de chaque sommet on aperçoive les sommets voisins et un ou deux repères.

C. ***Opérations sur le terrain.*** — Elles se résument à mesurer

des angles et des distances, à les projeter sur un plan horizontal et à construire sur le papier les figures géométriques formées par ces projections, en réduisant les distances à l'échelle du levé.

Les angles sont généralement réduits à l'horizon par l'instrument de topographie (goniomètre). Quant aux distances, on les réduit par le calcul. La distance mesurée sur le terrain étant AC, l'angle que cette ligne fait avec un plan horizontal α,

$$AB = AC \cos \alpha.$$

D'une façon générale, $K = D \cos \alpha$.

L'angle α est obtenu à l'aide d'un éclimètre (instrument qui mesure les angles de pente (Voir *Nivellement)*.

Des tables, construites à cet effet, donnent immédiatement $D \cos \alpha$ (Voir *Tables de réduction*, p. 5 et 6). Voici une de ces tables, l'autre se trouve dans le *Programme du levé à la boussole*, fin de cette 2e Partie.

TABLE DES COSINUS NATURELS POUR LA RÉDUCTION A L'HORIZON DES DISTANCES MESURÉES SUIVANT LA PENTE DU TERRAIN.

Inclinaison.	0'	20'	40'	60'	80'
0g	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9999
1	9999	9998	9998	9997	9996
2	9995	9994	9993	9992	9990
3	9989	9987	9986	9984	9982
4	9980	9978	9976	9974	9972
5	9969	9967	9964	9961	9959
6	9956	9953	9950	9946	9943
7	9940	9936	9933	9929	9925
8	9921	9917	9913	9909	9905
9	9900	9896	9891	9887	9882
10	9877	9872	9867	9862	9856
11	9851	9846	9840	9835	9829
12	9823	9817	9811	9805	9799
13	9792	9786	9779	9773	9766
14	9759	9752	9745	9738	9731
15	9724	9716	9709	9701	9694
16	9686	9678	9670	9662	9654
17	9646	9637	9629	9620	9612
18	9603	9594	9585	9576	9567
19	9558	9549	9539	9530	9520
20	9511	9501	9491	9481	9471
21	9461	9451	9440	9430	9419
22	9409	9398	9387	9377	9366
23	9354	9343	9332	9321	9309
24	9298	9286	9275	9263	9251
25	9239	9227	9215	9202	9190
26	9178	9165	9152	9140	9127
27	9114	9101	9088	9075	9062
28	9048	9035	9021	9008	8994
29	8980	8966	8952	8938	8924
30	8910	8896	8881	8867	8852
31	8838	8823	8808	8763	8778
32	8763	8748	8733	8717	8702
33	8686	8671	8655	8639	8623
34	8607	8591	8575	8559	8543

Exemple. — On a trouvé D = 152ᵐ63, α = 7ᵍ40′. On lit dans la table, à la rencontre de la ligne 7 grades et de la colonne 40′, le chiffre 9933 : cela signifie que 1 mètre, mesuré suivant une pente de 7 grades 40′, projeté sur un plan horizontal, se réduit à 0ᵐ9933. 152ᵐ63 se réduisent donc à 152,63 × 0ᵐ,9933 = 151ᵐ61.

L'opération première et principale d'un levé est la mesure des éléments du polygone de base et la construction de ce polygone sur le papier.

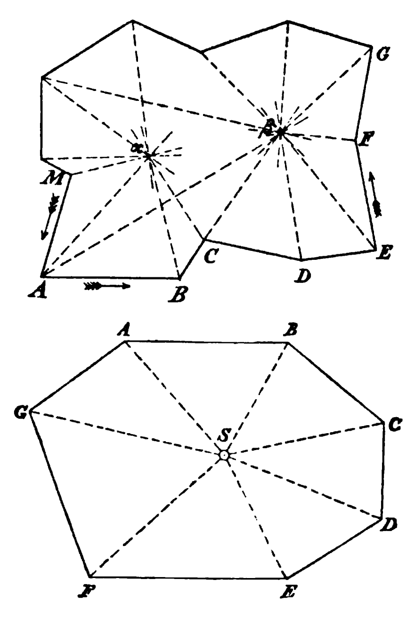
Il y a trois manières ou méthodes générales pour exécuter le levé d'un polygone. On peut, dans la pratique, les combiner entre elles.

A. Par cheminement périmétrique.

B. Par rayonnement.

C. Par intersections ou recoupements.

A. ***Levé par cheminement périmétrique.*** — Il consiste à mesurer successivement les côtés et les angles du polygone en parcourant son périmètre et en *s'établissant en station* sur ses sommets[1]. C'est la méthode la plus employée en *topographie,* généralement la plus simple et la plus commode, toujours la plus sûre et se prêtant le mieux aux vérifications continuelles par les repères.



B. ***Levé par rayonnement.*** — On s'installe en station vers le milieu du polygone, en un point S d'où l'on peut apercevoir tous ses sommets; on mesure les angles que font entre elles,

---

[1] S'établir en station signifie disposer l'instrument dont on se sert, dans les conditions théoriques voulues, au point où l'on se propose de faire des observations topographiques, c'est-à-dire mesurer des distances ou des angles.

ou avec l'une d'elles, les directions SA, SB, SC, SD, etc.; on mesure les distances SA, SB, SC, SD, etc.

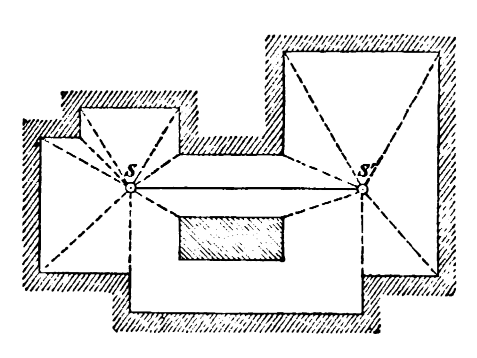
Comme vérification, on fait la somme des angles par le calcul et par l'instrument; on mesure directement, quand on le peut, les côtés AB, BC, CD, etc.

On emploiera cette méthode pour établir le plan d'une cour entourée de bâtiments, par exemple : on ne peut, dans ce cas, procéder par cheminement périmétrique, vu l'impossibilité d'installer un instrument en station dans les angles des murs.

Si l'on ne pouvait trouver un point intérieur d'où l'on aperçut tous les sommets du polygone, on choisirait deux ou plusieurs points intérieurs, on aurait de cette façon une ligne ou un polygone de base intérieur, qu'il faudrait lever d'abord *avec le plus grand soin.*

Exemple. — *Il y a dans l'intérieur de la cour une construction isolée; le polygone formé par les bâtiments principaux présente des angles rentrants très prononcés.*

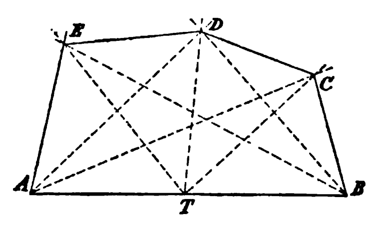
On mesure très exactement une base SS'; *on la trace, réduite à l'échelle du dessin, sur la planchette et l'on s'établit en station en* S, *puis en* S'.

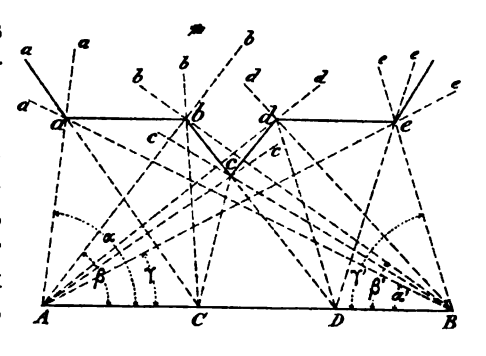


La méthode par rayonnement exige beaucoup de précautions : une erreur dans l'appréciation ou dans la construction des angles ou des distances entraîne une déformation grossière du polygone. Il ne faut donc négliger aucune des vérifications que pourra présenter chaque cas particulier.

*C. **Levé par intersections ou recoupements.*** — On choisit pour base un des côtés du polygone, ou une droite prise à l'intérieur ou à l'extérieur de celui-ci; on mesure avec la plus stricte exactitude cette base et on la porte, réduite à l'échelle du dessin, sur la planchette. On s'installe en station à l'une de ses

extrémités A et l'on mesure, au moyen d'un goniomètre (ou bien, on construit immédiatement sur la planchette à l'aide d'un goniographe), les angles α, β, γ, etc., que font avec la base AB les directions A*a*, A*b*, A*c*, A*d*, etc.; on trace ces directions sur la planchette en ayant soin de les désigner par la lettre des sommets *a*, *b*, *c*, *d*, etc. On se transporte en B, on mesure α', β', γ', etc.; on trace B*a*, B*b*, B*c*, etc. Les intersections des premières directions avec les secondes déterminent les sommets *a*, *b*, *c*, *d*, etc.





La position d'un point n'étant bien déterminée que par l'intersection de trois lignes, on prendra sur la base un ou deux points intermédiaires C, D, et l'on mesurera les tronçons AC, CD, DB. On fera en C et en D les mêmes observations et constructions qu'aux *termes* extrêmes A et B.

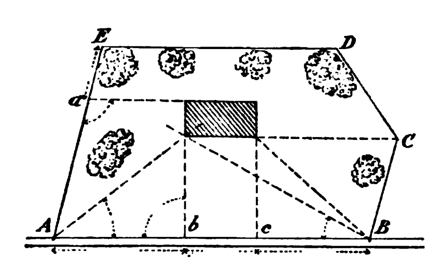
Comme vérification, il faudra que les intersections se produisent exactement au même point.

La méthode par intersections est souvent employée pour l'exécution des levés de fortifications. Nous en ferons une application à la *planchette Goulier* dans le camp retranché d'Anvers.

Il n'est pas toujours possible de prendre une base en ligne droite : il arrive que l'on ne peut la choisir de telle façon que *tous* les sommets à lever puissent être aperçus de trois points de cette base; que l'espace de terrain, sur lequel il est permis d'opérer, n'est pas assez profond pour établir une base rectiligne de longueur convenable; que des accidents du sol, de la végétation, des eaux, des constructions, rendent impossible la

mesure *directe* d'une base assez longue en ligne droite, etc.; il devient nécessaire, dans ces circonstances, de prendre une base en ligne brisée et parfois même un polygone de base qu'on lève *avec infiniment de soin.*

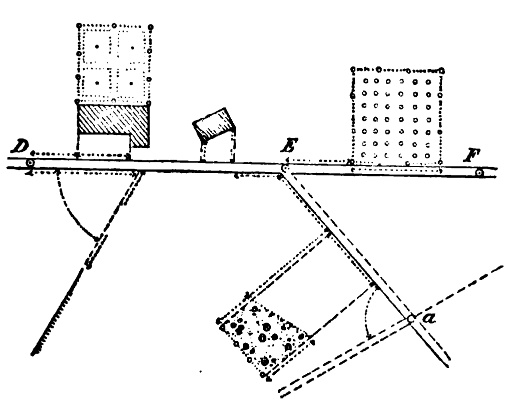
En principe, chaque fois que rien ne s'y oppose, on prend une base en ligne droite afin de n'avoir pas à mesurer des angles dans la base et d'éviter ainsi des causes d'erreurs : erreurs dans la mesure des angles et erreurs dans leur construction.



(Voir, pour plus de détails, *Levé à la planchette.)*

Une application au levé des détails :

Un propriétaire peu accommodant refuse de laisser pénétrer dans son parc pour déterminer la position exacte de sa maison de campagne : On s'établit en station en différents points déjà déterminés du canevas à l'extérieur de la propriété. Voir la figure.



Levé des détails. — On termine la planimétrie en rattachant au canevas, formé par le polygone de base et les traverses, tous les détails répandus sur la surface du terrain à lever.

Les détails sont généralement rattachés au canevas au moyen d'abcisses et d'ordonnées, en prenant pour axes les côtés du canevas; on élève ou l'on abaisse des perpendiculaires à

l'équerre d'arpenteur, ou bien on prolonge les côtés des détails jusqu'à leur intersection avec les lignes du canevas, etc. On mesure les distances à la chaîne ou simplement au pas, suivant leur importance et l'échelle du dessin.

Nivellement. — Les opérations du nivellement s'exécutent après les opérations de la planimétrie, ou bien en partie en même temps que celles-ci, cela dépend de l'instrument dont on fait usage. Ces opérations s'appuient sur un *canevas de nivellement,* qui n'est pas nécessairement celui de la planimétrie : elles se résument à chercher la différence de niveau entre deux points. (Voir *Nivellement.)*

Orientation. —Avant de quitter le terrain, on oriente soigneusement la minute au moyen d'un déclinatoire, ou en déterminant et en levant une méridienne (Voir 1re Partie, page 60).

D. ***Travail à domicile.*** — Il comporte des calculs de cotes; une mise à l'encre, des inscriptions diverses sur la minute; une mise au net de la planchette.

Voir le *Programme du levé à la boussole.*

Du dessin de la planchette minute.

Il consiste à tracer sur le papier des longueurs proportionnelles aux distances mesurées sur le terrain, et réduites à l'horizon, et à construire des angles donnés par les instruments.

Construction des longueurs. — Ce que nous avons dit au paragraphe *Échelles,* 1re Partie page 25, nous dispense d'en parler ici : nous savons comment on porte sur une planchette de dessin, à l'échelle adoptée, une longueur mesurée sur le terrain (et réduite à l'horizon, s'il y a lieu).

Le double décimètre permet de se passer d'échelle graphique, mais son emploi exige que le topographe fasse un calcul, or, tout calcul sur le terrain, quelque simple qu'il soit, est une source d'erreurs et de déboires.

On n'emploiera donc pas le double décimètre.

L'échelle des transversales, dont on se servira, doit être établie avec le plus grand soin : nous ne pouvons assez insister sur cette recommandation.



On se sert, pour prendre les longueurs sur l'échelle, d'un compas à pointes sèches.

Le *compas* doit être en parfait état, les branches égales et modérément serrées ; les pointes bien nettes, bien effilées.

Si le jeu des branches est trop facile, leur distance angulaire subit des altérations pendant le trajet de l'échelle au dessin ; si le jeu des branches, au contraire, demande trop d'efforts, les appuis réitérés sur l'échelle détériorent celle-ci, l'exactitude en souffre, enfin, l'écartement ou le rapprochement des pointes se fait par soubresauts agaçants.

On emploie un *crayon* dur, n° 3, 4 ou 5, suivant la marque de fabrique et la main du dessinateur. Les crayons gras salissent le papier.

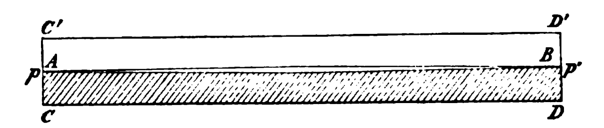
Le crayon doit être bien pointu, afin de construire un trait très fin, très net, et d'une épaisseur constante.

La *règle plate* taillée en biseau est seule en usage en topographie. Une bonne règle plate en bois de poirier bien sec suffit généralement ; si les opérations sont délicates, on construit à domicile en se servant d'une règle métallique.

Avant de se servir d'une règle on la vérifie.

En principe, on doit vérifier tout instrument avant de s'en servir, et chercher des moyens de vérification qui n'exigent pas que l'on se serve d'un autre instrument, qui devrait être lui-même vérifié au préalable.

A l'aide d'un bord AB de la règle, on trace une ligne unissant deux points *p* et *p'* marqués sur le papier ; puis on fait faire



une rotation de 180° à la règle autour de son bord AB comme charnière, on unit de nouveau *p* et *p'* par une ligne. Les deux lignes doivent se confondre dans tout leur tracé.

Si la règle n'était pas droite, l'erreur serait accusée par un trait double, ou tout au moins plus épais à certains endroits, comme le montre la figure.

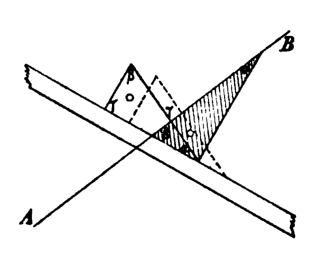


On ne construit généralement pas les perpendiculaires à l'équerre, on emploie le compas.

Les bonnes équerres en bois sont, du reste, très rares.

Cependant, s'il ne s'agissait que de construire un plan levé à l'aide d'un instrument grossier, tel que l'équerre d'arpenteur, on pourrait employer l'équerre en bois et la règle plate pour aller plus rapidement (levé des détails).

On trace toujours suivant l'hypoténuse de l'équerre dont on vérifie d'abord les trois côtés comme une règle plate : on place l'hypoténuse suivant la ligne sur laquelle on veut élever une perpendiculaire, on amène une règle plate en contact avec un des côtés formant l'angle droit; puis, maintenant la règle en place, on fait tourner l'équerre jusqu'à ce que l'autre côté, formant angle droit, vienne contre la règle : l'hypoténuse est alors perpendiculaire à AB, si l'équerre est bien construite.

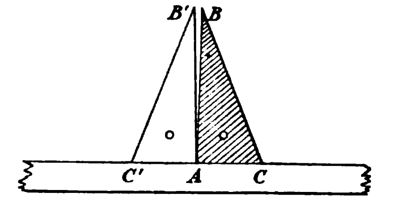


En effet, l'angle $\gamma = \alpha + \beta$.

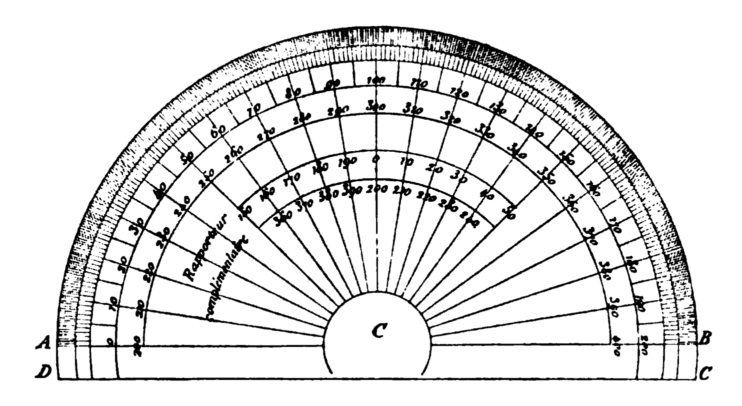
On fait glisser l'équerre le long de la règle jusqu'à ce que son hypoténuse passe par le point de la ligne où l'on veut élever la perpendiculaire (position en traits interrompus).

On abaisse une perpendiculaire sur une droite, d'un point extérieur, identiquement de la même façon.

Pour vérifier une équerre, on fait coïncider l'un des côtés AC de son angle droit avec le bord d'une bonne règle plate, on trace une droite suivant le côté AB; on retourne ensuite l'équerre, on lui fait prendre la position AB'C', et l'on trace suivant le même bord AB'. Les droites AB et AB' doivent n'en former qu'une seule, s'il y a écart entre elles, ou simplement épaississement du trait vers une des extrémités, l'équerre n'est pas juste.



Le *rapporteur* est un instrument formé d'une lame mince et transparente, en corne ou en celluloïde, taillée en demi-cercle

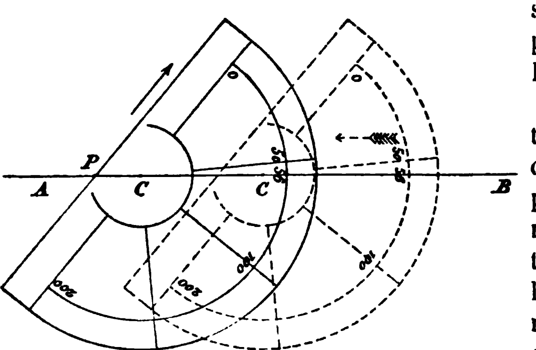


et dont la demi-circonférence est divisée en 180 degrés ou en 200 grades.

La corne se prolonge, au delà du diamètre AB (0-200), en un rectangle ABCD dont le côté extérieur DC est rigoureusement parallèle au diamètre 0-200.

CD est ce qu'on appelle la *ligne de foi* du rapporteur.

(Nos boussoles-stadia-éclimètre ayant leurs limbes divisés en grades, c'est un rapporteur divisé en grades que nous emportons sur le terrain pour le levé de Bruxelles.)



Pour construire un angle de 56 grades, par exemple, au moyen du rapporteur, on amène le rayon C-56 du rapporteur sur la droite AB que l'on voit par transparence; puis, on fait glisser le rapporteur le long de la droite AB, en maintenant son rayon C-56 sur cette

droite, jusqu'à ce que la ligne de foi passe par le point P de la ligne AB où l'angle doit être construit : on trace alors suivant la ligne de foi *vers le zéro*.

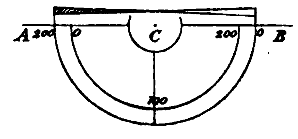
Voyez aussi le *Programme du levé à la boussole*, à la fin de cette 2e Partie.

Vérification du rapporteur. — Il y a peu de bons rapporteurs, et beaucoup sont très mauvais.

Nous ne pouvons assez vous engager à vérifier, dès maintenant, ceux qui vous ont été fournis à l'École et à les renvoyer au constructeur s'ils sont défectueux; quand vous serez sur le terrain, il sera trop tard, et vos rapporteurs vous causeront beaucoup d'ennuis.

1° La ligne de foi doit être droite. On la vérifie comme la règle plate, page 26.

La corne se déforme sous l'influence des variations atmosphériques; il faut éviter de laisser le rapporteur exposé aux rayons du soleil surtout.



2° La ligne de foi doit être parallèle au diamètre initial 0-200 (ou 0-180).

Tracer une droite AB, placer le diamètre 0-200 sur cette droite, 200 vers B; tracer une ligne suivant la ligne de foi; retourner le rapporteur sens dessus dessous, la convexité du limbe restant tournée vers le bas; replacer le diamètre 0-200 sur AB de telle façon que la graduation 0 vienne occuper la position que la graduation 200 occupait dans la première opération; tracer une ligne suivant la ligne de foi : les deux lignes tracées le long de la ligne de foi doivent se confondre en une seule; si elles se coupent, comme l'indique la figure, la ligne de foi n'est pas parallèle au diamètre 0-200 et il faut renvoyer l'instrument au constructeur.

3° Les graduations doivent être bien faites.

Porter des ouvertures de compas en différents points du limbe et s'assurer de ce que ces cordes égales sous-tendent des arcs égaux. Mesurer un même angle en se servant de portions différentes du limbe.

4° L'instrument doit être bien centré.

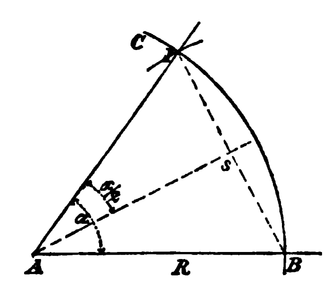
On place une pointe de compas au centre marqué C et, prenant le rayon CO, on promène la seconde pointe sur la circonférence du limbe : la pointe doit toujours rester sur la circonférence.

REMARQUE. — Les rapporteurs en corne se déforment facilement, il faut les vérifier de temps en temps; vu leur transparence, ils sont d'un usage plus facile que les *rapporteurs en cuivre* qui ont, de plus, le grave inconvénient de salir le papier.

On fait actuellement des rapporteurs en celluloïde qui sont préférables aux rapporteurs en corne.

Construction des angles par la table des cordes.

Si l'on veut construire un angle α très exactement, du sommet A de cet angle, avec une grande ouverture de compas R, on trace un arc de cercle BC; du point B, intersection du côté de l'angle avec l'arc BC, on trace un arc de cercle de rayon BI égal à la corde *calculée* qui sous-tend l'arc α dans la circonférence de rayon R; on joint l'intersection I des deux arcs au sommet A.



La corde BI est donc déterminée par le calcul :

$$BI = 2\,IS.$$

$$IS = R \sin \frac{\alpha}{2}.$$

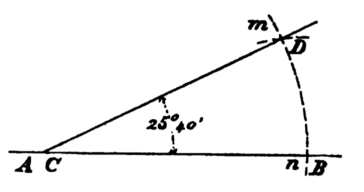
$$BI = 2R \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Des *Tables des cordes,* toute construites, permettent de ne pas effectuer ces calculs trigonométriques.

La table des cordes pages 32 et 33 donne, pour tous les angles compris entre 0 et 90°, le rapport de la corde au rayon.

$$\frac{\text{corde } 10^\circ}{R} = \frac{0{,}1743}{1}.$$

Pour construire, en un point C d'une droite AB, un angle de 25°40′ par exemple, on décrira, du point C comme centre, avec un rayon égal à l'une des unités de l'échelle du dessin, un arc *mn*; consultant alors la table des cordes, on trouvera sur la ligne 25 et dans la colonne 40′ le rapport 0,4442; on prendra, *à la même échelle*, une ouverture de compas égale aux 0,4442 de l'unité adoptée pour le rayon de l'arc *mn*, et, du point *n* comme centre, on décrira un second arc de cercle qui coupera le premier en D; on joindra DC, et l'angle de 25°40′ sera construit.



REMARQUE. — Il faut consulter des tables spéciales, construites avec soin, et dont l'exactitude soit garantie.

Par hasard, nous avons pris l'angle 25°40′ et nous avons consulté la table du *Dictionnaire des mathématiques appliquées*, de SONNET, un excellent ouvrage : il se fait que la corde donnée 0,4343 est fautive, c'est 0,4442 que la table devrait donner. Nous avons constaté cette erreur fortuitement, en nous servant d'une autre table pour vérifier nos calculs.

La corde d'un arc étant double du sinus de sa moitié, on peut se servir d'une table des sinus naturels, de la même façon que d'une table des cordes, en ayant soin de prendre dans la table le sinus de la moitié de l'angle à construire et de doubler ensuite ce sinus pour avoir la corde *mn*.

Si l'angle est plus grand que 90°, on construit son supplément.

Il existe des tables donnant les cordes des angles jusque 180°.

Si l'angle à construire tombait entre deux angles consécutifs de la table, on déterminerait sa corde par une interpolation dans le genre de celle que l'on emploie pour les logarithmes.

Exemple. — On veut déterminer la corde de l'arc 26°34′, qui diffère de 4′ de l'arc 26°30′.

La corde de l'arc 26°40′ est	0,4612
» » 26°30′ est	0,4584
Différence :	0,0028

On aura 10′ : 4′ :: 0,0028 : x.

$$x = \frac{4 \times 0{,}0028}{10} = 0{,}00112.$$

TABLE DES CORDES.

R = 1,0000

D.	0′	10′	20′	30′	40′	50′
0°	0	0,0029	0,0058	0,0087	0.0116	0,0145
1	0,0175	0,0204	0,0233	0,0262	0,0291	0,0320
2	0.0349	0,0378	0.0407	0,0436	0,0465	0.0494
3	0,0523	0,0553	0,0582	0,0611	0,0640	0,0669
4	0.0698	0,0727	0,0756	0,0785	0,0814	0,0843
5	0,0872	0.0901	0,0931	0,0960	0,0989	0,1018
6	0,1047	0,1076	0.1105	0,1134	0.1163	0.1192
7	0,1221	0,1250	0,1279	0,1308	0,1337	0,1366
8	0,1395	0,1424	0,1453	0,1482	0,1511	0,1540
9	0,1569	0,1598	0,1627	0,1656	0,1685	0,1714
10	0,1743	0,1772	0,1801	0,1830	0,1859	0,1888
11	0,1917	0,1946	0,1975	0.2004	0,2033	0,2062
12	0,2091	0.2120	0.2148	0,2177	0,2206	0,2235
13	0,2264	0,2293	0,2322	0,2351	0,2380	0.2409
14	0,2437	0,2466	0,2495	0,2524	0.2553	0.2582
15	0,2611	0.2639	0,2668	0,2697	0,2726	0,2755
16	0,2783	0,2812	0,2841	0.2870	0,2899	0,2927
17	0,2956	0,2985	0,3014	0,3042	0,3071	0,3100
18	0,3129	0,3157	0,3186	0,3215	0,3244	0,3272
19	0.3301	0,3330	0,3358	0,3387	0,3416	0,3444
20	0,3473	0,3502	0,3530	0.3559	0,3587	0,3616
21	0,3645	0,3673	0,3702	0.3730	0,3759	0,3788
22	0,3816	0,3845	0,3873	0,3902	0,3930	0,3959
23	0,3987	0,4016	0,4044	0,4073	0,4101	0,4130
24	0,4158	0,4187	0,4215	0,4244	0,4272	0,4300
25	0.4329	0,4357	0,4386	0.4414	*0,4442*	0,4471
26	0,4499	0,4527	0.4556	0,4584	0,4612	0,4641
27	0,4669	*0,4697*	0,4725	0,4754	0,4782	0,4810
28	0.4838	0,4867	0,4895	0,4923	0,4951	0,4979
29	0,5008	0.5036	0,5064	0,5092	0,5120	0,5148
30	0,5176	0,5204	0,5233	0,5261	0,5289	0,5317
31	0.5345	0,5373	0.5401	0,5429	0,5457	0,5485
32	0,5513	0,5541	0,5569	0,5598	0,5625	0,5652
33	0,5680	0,5708	0,5736	0,5764	0.5792	0,5820
34	0,5847	0,5875	0,5903	0,5931	0,5959	0,5986
35	0,6014	0,6042	0,6070	0,6097	0,6125	0,6153
36	0,6180	0,6208	0.6236	0,6263	0,6291	0,6319
37	0,6346	0,6374	0,6401	0,6429	0,6456	0,6484
38	0,6511	0,6539	0,6566	0,6594	0,6621	0,6649
39	0,6676	0,6704	0,6731	0,6758	0.6786	0,6813
40	0,6840	0,6868	0,6895	0,6922	0,6950	0,6977
41	0,7004	0,7031	0,7059	0,7086	0,7113	0,7140
42	0,7167	0,7195	0,7222	0,7249	0,7276	0,7303
43	0,7330	0,7357	0,7384	0,7411	0,7438	0,7465
44	0,7492	0,7519	0,7546	0,7573	0,7600	0,7627

TABLE DES CORDES.

D.	0′	10′	20′	30′	40′	50′
45	0,7654	0,7680	0,7707	0,7734	0,7761	0,7788
46	0,7815	0,7841	0,7868	0,7895	0,7922	0,7948
47	0,7975	0,8002	0,8028	0,8055	0,8082	0,8108
48	0,8135	0,8161	0,8188	0,8214	0,8241	0,8267
49	0,8294	0,8320	0,8347	0,8373	0,8400	0,8426
50	0,8452	0,8479	0,8505	0,8531	0,8558	0,8584
51	0,8610	0,8636	0,8663	0,8689	0,8715	0,8741
52	0,8767	0,8794	0,8820	0,8846	0,8872	0,8898
53	0,8924	0,8950	0,8976	0,9002	0,9028	0,9054
54	0,9080	0,9106	0,9132	0,9157	0,9183	0,9209
55	0,9235	0,9261	0,9287	0,9312	0,9338	0,9364
56	0,9389	0,9415	0,9441	0,9466	0,9492	0,9518
57	0,9543	0,9569	0,9594	0,9620	0,9645	0,9671
58	0,9696	0,9722	0,9747	0,9772	0,9798	0,9823
59	0,9848	0,9875	0,9899	0,9924	0.9950	0,9975
60	1,0000	1,0025	1,0050	1,0075	1,0101	1,0126
61	1,0151	1,0176	1,0201	1,0226	1,0251	1,0276
62	1,0301	1,0326	1,0351	1,0375	1,0400	1,0425
63	1,0450	1,0475	1,0500	1,0524	1,0549	1,0574
64	1,0598	1,0623	1,0648	1,0672	1,0697	1,0721
65	1,0746	1,0771	1,0795	1,0819	1,0844	1,0868
66	1,0893	1,0917	1,0941	1,0965	1,0990	1,1014
67	1,1039	1,1063	1,1087	1,1111	1,1136	1,1160
68	1.1184	1,1208	1,1232	1,1256	1,1280	1,1304
69	1,1328	1,1352	1,1376	1,1400	1,1424	1,1448
70	1,1472	1,1495	1,1519	1,1543	1,1567	1,1590
71	1,1614	1,1638	1,1661	1,1685	1,1709	1,1732
72	1,1756	1,1779	1,1803	1,1826	1,1850	1,1873
73	1,1896	1,1920	1,1943	1,1966	1,1990	1,2013
74	1,2036	1,2060	1,2083	1,2106	1,2129	1,2152
75	1,2175	1,2198	1,2221	1,2244	1,2267	1,2290
76	1,2313	1,2336	1,2359	1,2382	1,2405	1,2427
77	1,2450	1,2473	1,2496	1,2518	1,2541	1,2564
78	1,2586	1,2609	1,2632	1,2654	1,2677	1,2699
79	1,2722	1,2744	1,2766	1,2789	1,2811	1,2833
80	1,2856	1,2878	1,2900	1,2922	1,2944	1,2965
81	1,2989	1,3011	1,3033	1,3055	1,3077	1,3099
82	1,3121	1,3143	1,3165	1,3187	1,3209	1,3231
83	1,3252	1,3274	1,3296	1,3318	1,3339	1,3361
84	1,3383	1,3404	1,3426	1,3447	1,3469	1,3490
85	1,3512	1,3533	1,3555	1,3576	1,3597	1,3619
86	1.3640	1,3661	1,3682	1,3704	1.3725	1,3746
87	1,3767	1,3788	1,3809	1,3830	1,3851	1,3872
88	1,3893	1,3914	1,3935	1,3956	1,3977	1,3997
89	1,4018	1,4039	1,4060	1,4080	1,4101	1,4122

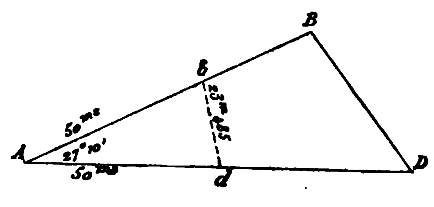
TABLE DES CORDES.

D.	0′	10′	20′	30′	40′	50′
90	1,4142	1,4163	1,4183	1,4204	1,4224	1,4245
91	1,4265	1,4285	1,4306	1,4326	1,4348	1,4367
92	1,4387	1,4407	1,4427	1,4447	1,4467	1,4487
93	1,4507	1,4527	1,4547	1,4567	1,4587	1,4607
94	1,4627	1,4647	1,4667	1,4686	1,4706	1,4726
95	1,4745	1,4765	1,4785	1,4804	1,4824	1,4843
96	1,4863	1,4882	1,4902	1,4921	1,4940	1,4960
97	1,4980	1,4998	1,5018	1,5037	1,5056	1,5075
98	1,5094	1,5113	1,5132	1,5151	1,5170	1,5189
99	1,5208	1,5227	1,5246	1,5265	1,5283	1,5302
100	1,5321	1,5340	1,5358	1,5377	1,5395	1,5414
101	1,5432	1,5451	1,5470	1,5488	1,5506	1,5525
102	1,5543	1,5561	1,5579	1,5598	1,5616	1,5634
103	1,5652	1,5670	1,5688	1,5706	1,5724	1,5742
104	1,5760	1,5778	1,5796	1,5814	1,5832	1,5849
105	1,5867	1,5885	1,5902	1,5920	1,5938	1,5955
106	1,5973	1,5990	1,6007	1,6025	1,6042	1,6060
107	1,6077	1,6094	1,6112	1,6129	1,6146	1,6163
108	1,6180	1,6197	1,6214	1,6231	1,6248	1,6265
109	1,6282	1,6299	1,6316	1,6333	1,6350	1,6366
110	1,6383	1,6400	1,6416	1,6433	1,6449	1,6466
111	1,6482	1,6499	1,6515	1,6536	1,6548	1,6564
112	1,6581	1,6597	1,6613	1,6629	1,6645	1,6662
113	1,6678	1,6694	1,6710	1,6726	1,6742	1,6758
114	1,6773	1,6789	1,6805	1,6820	1,6836	1,6852
115	1,6868	1,6883	1,6899	1,6915	1,6930	1,6945
116	1,6961	1,6976	1,6991	1,7007	1,7022	1,7038
117	1,7053	1,7068	1,7083	1,7098	1,7113	1,7128
118	1,7143	1,7158	1,7173	1,7188	1,7203	1,7218
119	1,7233	1,7247	1,7262	1,7277	1,7281	1,7306
120	1,7320	1,7335	1,7350	1,7364	1,7378	1,7393
121	1,7407	1,7421	1,7436	1,7450	1,7464	1,7478
122	1,7492	1,7506	1,7520	1,7534	1,7548	1,7562
123	1,7576	1,7590	1,7604	1,7618	1,7632	1,7646
124	1,7659	1,7673	1,7686	1,7700	1,7713	1,7727
125	1,7740	1,7754	1,7767	1,7780	1,7794	1,7807
126	1,7820	1,7833	1,7846	1,7860	1,7873	1,7886
127	1,7899	1,7912	1,7924	1,7937	1,7950	1,7963
128	1,7976	1,7989	1,8001	1,8013	1,8026	1,8039
129	1,8052	1,8064	1,8077	1,8090	1,8102	1,8114
130	1,8126	1,8138	1,8151	1,8163	1,8175	1,8187
131	1,8199	1,8211	1,8223	1,8235	1,8247	1,8259
132	1,8271	1,8283	1,8294	1,8306	1,8318	1,8330
133	1,8341	1,8353	1,8364	1,8374	1,8387	1,8399
134	1,8410	1,8421	1,8433	1,8444	1,8455	1,8466

On ajoutera 0,0011 à la corde de l'arc 26°30′.

Corde 26°34′ = 0.4584 + 0,0011 = 0,4595.

On peut utiliser les tables des cordes ou des sinus naturels pour déterminer les angles d'un triangle mesuré à la règle ou à la chaîne d'arpenteur.



Soit le triangle ABD. On désire connaître l'angle A.

On mesure, à partir du sommet A, sur les côtés AB et AD, des longueurs égales (1 mètre, 10, 20, 30, 50, 100 mètres, les plus grandes possibles).

On mesure ensuite *bd*, la droite qui unit leurs extrémités.

bd est la corde de l'arc A°.

Nous avons $\frac{\text{corde}}{\text{rayon}} = \frac{bd}{Ad}$ = rapport donné par la *Table des cordes:*

On cherche dans la table l'angle qui correspond à la valeur trouvée pour $\frac{bd}{Ad}$.

Exemple concret. — On a pris sur les côtés des longueurs égales à 50 m. On trouve, en la mesurant, que la corde, $bd = 23^{m},485$.

Le rapport donné par la table est $\frac{23,485}{50} = 0,4697$.

L'angle correspondant au rapport 0,4697, dans la *Table des cordes,* est l'angle 27°10′.

Si on employait une table de sinus naturels, on prendrait la moitié de *bd* et l'on multiplierait par 2 l'angle obtenu.

Exemple. — Le rapport de la *Table des sinus* sera

$$\frac{bd}{2 \times Ad} = \frac{23.485}{2 \times 50} = 0,23485$$

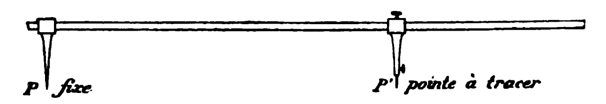
Si nous cherchons dans la table, page 36, nous trouvons que c'est là le sinus d'un angle de 13°35′. Multiplions cet angle par 2, nous aurons, comme avec la *Tables des cordes*, 27°10′.

LIGNES TRIGONOMÉTRIQUES NATURELLES.

13°					
′	SINUS.	COSINUS.	TANGENTE.	COTANG.	
31	0.23373	0.97230	0.24039	4.15997	29
32	401	223	069	5465	28
33	429	217	100	4934	27
34	458	210	131	4405	26
35	486	203	162	3877	25
36	514	196	193	3350	24
37	542	189	223	2825	23
38	571	182	254	2301	22
39	599	176	285	1778	21
40	627	169	316	1256	20
41	0.23656	0.97162	0.24347	4.10736	19
42	684	155	377	0216	18
43	712	148	408	4.09699	17
44	740	141	439	9182	16
45	769	134	470	8666	15

Pour construire les angles avec beaucoup d'exactitude, il faut prendre des ouvertures de compas fort grandes, plus les rayons des arcs de construction seront grands moins les conséquences d'une même erreur dans les longueurs *prises à l'échelle du dessin* seront grandes.

Les compas à branches ordinaires ne conviennent pas pour construire les angles par la *Table des cordes* : on fait usage d'un compas à verge.



Le *compas à verge* est une règle métallique d'un mètre de long, divisée en centimètres et en millimètres; a l'une des extrémités, origine des graduations, et perpendiculairement à la règle, est rivée une pointe d'acier fixe; sur la règle peut se

mouvoir une coulisse portant un crayon, un tire-ligne, une pointe à tracer perpendiculaire à la règle également; la coulisse peut être immobilisée sur la règle par l'effet d'une vis de pression, elle porte un vernier, de sorte qu'il est possible de donner aux deux pointes l'écartement que l'on veut à une fraction de millimètre près.

La pointe fixe P remplit l'office de la pointe sèche d'un compas ordinaire.

Instruments.

Les instruments que l'on emploie pour mesurer les distances sont des *diastimètres*.

Ceux qui servent à mesurer des angles sont des *goniomètres*.

On construit les angles sur le papier au moyen de *goniographes*.

Un instrument peut être à la fois un goniomètre et un goniographe. Tel est, par exemple, le *sextant rapporteur*.

Généralités. — L'étude d'un instrument comprend : 1° sa description et sa théorie; 2° ses applications et son mode d'emploi; 3° les conditions de construction auxquelles il doit satisfaire, les vérifications qu'il comporte et les corrections dont il est susceptible.

Quel que soit l'instrument, il faut avoir soin, *avant de s'en servir*, de le vérifier, de s'assurer de ce que toutes les conditions auxquelles il doit satisfaire sont rigoureusement remplies : un instrument bien construit peut avoir été faussé.

Les moyens de vérification se tirent de la description et de la théorie de l'instrument, de l'usage auquel il est destiné, et peuvent varier à l'infini.

La vérification est une opération qui exige une bonne installation, du calme, de l'habitude et du tact de la part du topographe.

On pourra souvent effectuer les corrections soi-même, et quelquefois on se trouvera dans la nécessité de renvoyer l'instrument au constructeur. Il arrivera que des corrections qui ne peuvent être exécutées par le topographe, parce que le constructeur n'en aura pas ménagé les moyens, n'entraîneront pas le rejet de l'instrument ou son envoi en réparation chez le mécanicien : ce sera le cas où un opérateur intelligent parviendra,

par un choix heureux de méthodes, à atténuer suffisamment, ou même à éliminer, les erreurs provenant des défectuosités de son instrument.

Exemples. — Voyez chaine d'arpenteur, — graphomètre, — alidade, — théodolite, pour exemple complet.

Diastimètres. — Il existe deux genres de diastimètres :

Les ***diastimètres directs,*** qui exigent que l'on parcourt une distance pour la mesurer. Tels sont : le mètre, la chaîne d'arpenteur.

Les ***diastimètres indirects,*** qui permettent de mesurer une distance sans la parcourir. Tels sont : la lunette — stadia, les chorismomètres, les télémètres.

Il est indispensable que nous ouvrions ici une parenthèse : ***Toute distance, avant d'être mesurée aux diastimètres directs, doit être jalonnée.*** Disons donc ce que c'est qu'un jalon et comment on trace un alignement.

Un ***jalon*** est un simple piquet ***bien droit,*** de section octogonale d'habitude, de deux à trois centimètres de diamètre et de $1^{m}50$ à 2 mètres de haut; armé d'une pointe en acier permettant de l'enfoncer aisément dans le sol.

Le jalon est généralement peint en portions de $0^{m}30$ à $0^{m}40$, alternativement rouges et blanches, pour le rendre plus visible de loin.

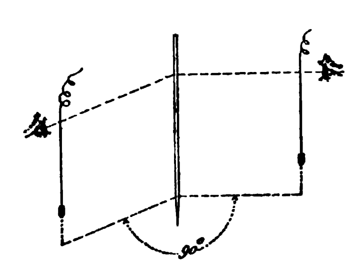
A défaut de jalons, on en fabrique en apointissant des bâtons bien droits et en pratiquant, à la partie supérieure de ces bâtons, une fente dans laquelle on introduit un signal blanc, une carte de visite par exemple.

Planter un jalon est une opération fort simple en apparence, mais qui, néanmoins, demande beaucoup d'habitude, et qui a de l'importance ***si l'on ne veut s'astreindre à viser par le pied des jalons,*** ce qui est quelquefois impossible et toujours fort incommode.

Il faut que le jalon soit planté ***bien verticalement.***

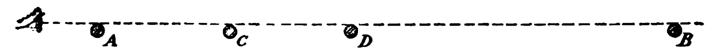
Pour quelqu'un qui a de la pratique, cela se fait à vue; le

commençant devra se servir d'un fil à plomb et donner à un aide les indications nécessaires pour amener le jalon à l'intersection de deux plans verticaux perpendiculaires entre eux.



L'opérateur ayant enfoncé le jalon au point voulu, se placera à 2 ou 3 mètres de son pied; déterminera un plan vertical passant par ce pied, le fil à plomb et son œil droit; puis, par signes de la main droite, il fera amener par son aide la tête du jalon dans ce plan; ensuite, se portant à la même distance dans une direction perpendiculaire à la première, il renouvellera l'opération en ayant soin de veiller à ce que l'aide modifie la position du jalon *dans le plan vertical* déjà déterminé.

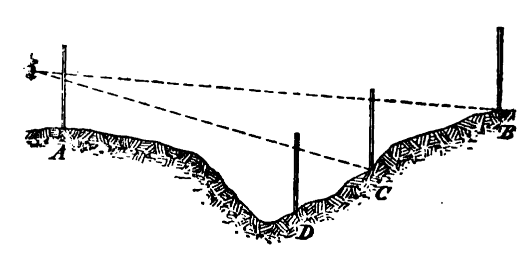
Tracé d'un alignement. — Soit à tracer un alignement du point A au point B.



L'opérateur commence par planter un jalon à chaque extrémité de la ligne AB; se plaçant ensuite un peu en arrière du jalon A, et visant tangentiellement aux jalons A et B, il guidera au moyen de signes un aide qui enfoncera un troisième jalon, C, dans l'alignement des deux premiers, puis un quatrième, D, dans l'alignement des trois premiers, et ainsi de suite.

La façon de tracer un alignement (visée tangentielle) exige que les jalons soient de même épaisseur et bien droits.

Si le terrain est en pente, on place son œil le plus bas possible derrière le jalon A, et l'on fait planter le jalon C, dont on ne peut voir que la partie supérieure, dans l'alignement du pied

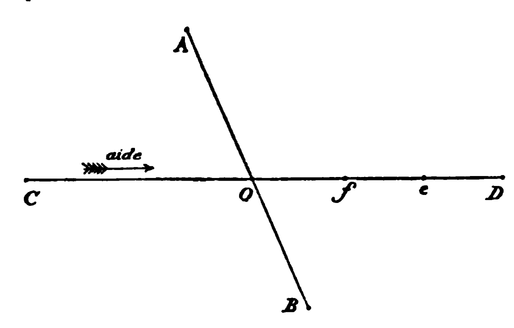


du jalon B; on a grand soin de veiller à ce que le jalon C soit bien vertical; on place le jalon D en se servant du pied du jalon C. Se transportant ensuite en B, on trace, par le même procédé, l'alignement sur le versant opposé.

Remarque. — L'aide, en terrain incliné, a une tendance à planter le jalon perpendiculairement au terrain, et non verticalement.

On peut avoir à chercher, sur le terrain, le point d'intersection de deux droites :

On trace les alignements AB et CD comme nous l'avons indiqué; puis le topographe vise suivant l'alignement AB, tandis que l'aide chemine de C vers D, tenant devant lui bien verticalement un jalon dans l'alignement CD; au moment où le jalon tenu par l'aide coupe l'alignement AB, le topographe fait signe à l'aide de s'arrêter et de planter le jalon.



Remarque. — Si l'on tient un jalon par l'extrémité, entre le pouce et le premier doigt, sans trop le serrer, il prend de lui-même la direction verticale.

Diastimètres directs. — Les diastimètres directs sont les règles métriques — mètre, double mètre, quadruple mètre, — la chaîne d'arpenteur, le ruban d'acier, le cordeau métrique, le double décamètre, etc.

Règles métriques. — Elles sont en bois de sapin, qui résiste assez bien aux intempéries, ou en chêne. Ce sont des lattes de section rectangulaire, armées de *frettes* en cuivre ou en fer à leurs extrémités pour empêcher qu'elles se fendent et surtout pour conserver exactement leur longueur qui s'altérerait par les chocs.

Les règles sont graduées dans *les deux sens* à partir des extrémités, afin qu'on puisse s'en servir sans être obligé de vérifier le bout que l'on porte en avant.

Le *mètre* ne s'emploie que pour mesurer de très petites longueurs ou concurremment avec le quadruple mètre. On s'en sert particulièrement dans les levés de bâtiments.

Le *double mètre* ou *règle de deux mètres* est d'un usage continuel. On s'en sert pour mesurer des bases ; dans les levés de bâtiment, de fortifications, de terrain ; dans les nivellements de détails au niveau de maçon. On emploie le *quadruple mètre* dans les mêmes circonstances, mais les bonnes règles de quatre mètres sont rares — le bois travaille, la règle ne reste pas droite — et l'instrument est plus encombrant.

Pour mesurer une distance il faut deux règles :

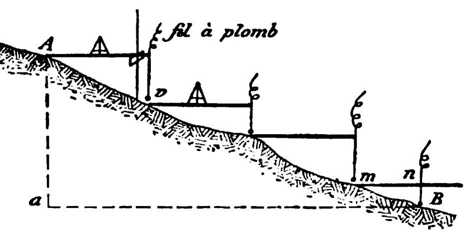
On jalonne soigneusement la ligne ou, si elle n'est pas trop longue, on tend un cordeau joignant ses extrémités.

Si la distance est horizontale, on place la première règle à partir de A sur AB, puis la seconde règle dans le prolongement



de la première en laissant entre les deux un centimètre d'intervalle. Cette opération se fait avec un aide, le topographe maintient la première règle en place et dirige l'aide dans le placement de la seconde ; la seconde règle étant placée, comme nous venons de le dire, et sa position vérifiée, le topographe appuie sur la première règle et amène la seconde en contact en l'attirant à lui avec prudence pour éviter les chocs.

Lorsque le terrain est en pente et que l'on cherche la réduction d'une distance à l'horizon, voici comment on opère :



On jalonne la ligne AB à mesurer. On place la première règle en appuyant son bout d'arrière en A et en faisant soutenir son bout d'avant par un aide — à la main, en s'aidant d'une perche ou mieux sur le voyant d'une

mire. — On rend la règle horizontale au moyen d'un niveau de maçon. On laisse tomber un fil à plomb de l'extrémité du bout d'avant sur le sol et l'on part du point *v*, où tombe la verticale, en se servant de la seconde règle comme on vient de le faire de la première.

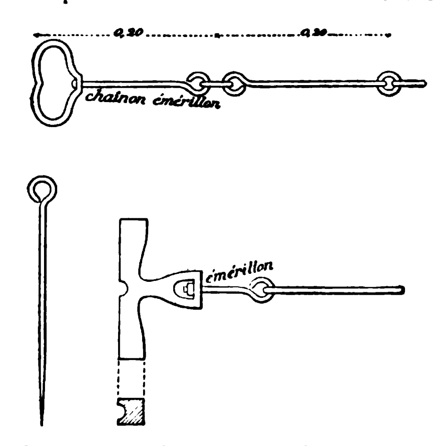
Il faut deux aides pour faire cette opération convenablement.

$aB = 3$ règles $+ mn$. On lit mn sur la règle au moyen du fil à plomb.

On vérifie la longueur de la règle, qui doit être *parfaitement* droite, au moyen d'un mètre étalon.

La *chaîne d'arpenteur* est une chaîne métallique, ordinairement de 10 mètres de longueur. Elle est formée de chaînons allongés en fil de fer de 2 à 3 millimètres de diamètre, réunis entre eux par des anneaux.

La chaîne est terminée par deux poignées dont la longueur est prise sur les deux chaînons extrêmes.



L'intervalle entre les *centres* de deux anneaux consécutifs est de 0^{m},20. Les anneaux de mètre en mètre sont en cuivre, de façon à ce qu'on les distingue aisément des autres; l'anneau du milieu est d'une forme spéciale ou muni d'un petit appendice pour le même motif.

Un jeu de onze fiches complète la chaîne comme instrument de topographie ou d'arpentage.

Une fiche est une tige de gros fil de fer (4 à 5 mill. de diamètre) de 0^{m},30 à 0^{m},40 de hauteur, pointue d'un côté et terminée en anneau de l'autre.

Les poignées de la chaîne portent généralement une échancrure dans laquelle peut se loger la moitié de l'épaisseur d'une fiche; elles sont unies aux chaînons extrêmes par un émérillon qui empêche la chaîne de se tordre.

L'emploi de la chaîne d'arpenteur nécessite au moins deux opérateurs qui en tiennent chacun une extrémité : L'un porte le nom de *chaîneur d'avant*, l'autre celui de *chaîneur d'arrière*.

Pour mesurer une distance AB, on commence par la jalonner. Puis le chaîneur d'avant prend dans la main droite dix fiches et dans la main gauche une des poignées de la chaîne; le chaîneur d'arrière plante une fiche (la onzième) au point de départ A et appuie l'échancrure de la poignée, qu'il tient de la main droite, contre cette fiche; ensuite, par signes, il fait placer la main

A C D B

gauche du chaîneur d'avant, qui tend la chaîne, dans l'alignement déterminé par les jalons.

La chaîne étant bien tendue, bien à plat sur le sol (éviter les herbes, les pierres, les mottes de terre, etc.), *bien dans l'alignement*, le chaîneur d'avant plante une fiche dans l'échancrure de sa poignée : une première *portée* de dix mètres est mesurée.

Le chaîneur d'arrière enlève alors la fiche de départ de la main gauche; puis les deux opérateurs, soulevant la chaîne, marchent vers B en sortant un peu de l'alignement pour ne pas accrocher la fiche plantée par le chaîneur d'avant.

Lorsque le chaîneur d'arrière arrive à hauteur de la fiche, il pose la poignée contre cette fiche et les deux opérateurs agissent comme pour la première portée de dix mètres.

Le chaîneur d'arrière enlevant les fiches en avançant, on comptera autant de fois dix mètres qu'il aura de fiches *enlevées* en main (la dernière fiche n'est pas enlevée); ou bien encore autant de fois dix mètres que le chaîneur d'avant aura *planté* de fiches.

Si la distance AB n'est pas multiple de dix mètres, on estime, à l'aide des anneaux et des chaînons, la portion de chaîne comprise entre la dernière fiche, contre laquelle le chaîneur d'arrière appuie la poignée, et le point B.

Les deux chaîneurs expriment chacun la distance mesurée d'après le nombre de fiches *qu'ils ont en main* et *dont la somme est dix*, la fiche de la dernière portée de dix mètres restant piquée dans le sol.

Remarque. — Les poignées n'ont pas toujours une échancrure; dans le cas où ce petit perfectionnement n'existerait pas, le chaîneur d'arrière appuierait intérieurement la poignée contre la fiche d'origine et le chaîneur d'avant planterait la sienne contre la poignée mais à l'extérieur de celle-ci.

fiche chaîneur d'arrière chaîneur d'avant fiche

Si la distance à mesurer est plus grande que 100 mètres, le chaîneur d'avant reprend dix fiches lorsqu'il a planté les dix premières et le topographe inscrit 100 mètres dans son carnet, après avoir vérifié soigneusement si aucune fiche n'est restée en route (le chaîneur d'arrière peut avoir négligé d'enlever une fiche ou l'un des deux aides en avoir perdu une en chemin).

La chaîne d'arpenteur n'est pas un instrument de précision : Le défaut d'horizontalité du sol, les aspérités du terrain, la végétation qui soulève la chaîne en certains points, la diminution de longueur qui résulte de la courbure due à son propre poids lorsqu'elle n'est pas partout en contact avec le sol, etc., sont autant de causes d'erreurs dans la mesure des distances à la chaîne.

On admet qu'en opérant avec le plus grand soin, sur un sol convenable, on peut se tromper d'un mètre sur une distance de mille mètres. L'*approximation* est, dit-on, de $\frac{1}{1000}$.

La chaîne est un instrument très rustique, très pratique, d'un usage général pour l'*arpentage*.

On la trouve partout, l'aide le plus borné convient pour être chaîneur d'avant; il est donc fort utile de savoir s'en servir judicieusement.

Vérification. — On détermine sur un plancher (sur une surface bien unie), au moyen d'un mètre ou d'un double mètre *étalonné*, une longueur de 10 mètres sur laquelle on pose la chaîne. On lui donne quelquefois un ou deux centimètres de plus que 10 mètres, les centimètres supplémentaires étant destinés à compenser la diminution de longueur qui provient de ce que la chaîne n'est jamais rigoureusement tendue : nous préférons que nos chaînes aient exactement dix mètres.

La chaîne s'allonge par l'usage, il est prudent de la vérifier de temps en temps et dans tous les cas avant de s'en servir la première fois.

Recommandations pratiques. — 1° Avoir soin qu'il n'existe pas de nœuds dans la chaîne (des voleurs en termes d'arpentage) et veiller à ce que celle-ci soit bien tendue.

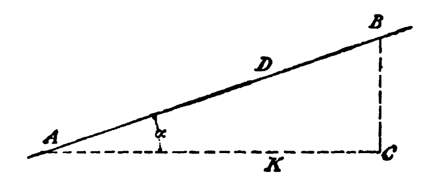
2° Placer exactement la chaîne dans l'alignement déterminé par les jalons.

3° Pour le transport de la chaîne, faire faire d'abord un pas de côté aux aides, afin qu'ils marchent en dehors de l'alignement et ne risquent pas d'accrocher et d'enlever la fiche plantée par le chaîneur d'avant.

4° Après chaque mesure de distance, ou chaque portée de 100 mètres, compter les fiches pour s'assurer de ce que les aides les ont toutes. (L'un des aides peut perdre une fiche pendant l'opération et souvent le chaîneur d'arrière oublie d'enlever les fiches d'origine.)

5° Contrôler la mesure de la distance en l'estimant au pas. On se trompe facilement d'une dizaine et même d'une centaine : si l'on a pris la précaution d'étalonner son pas, une erreur de dix mètres ne peut échapper à ce contrôle [1].

6° Si la ligne mesurée est très importante, la chaîner une seconde fois en sens inverse de la première et prendre la moyenne des deux mesures, qui ne peuvent différer de plus de deux millièmes de la distance, si le terrain se présente bien pour l'emploi de la chaîne.



Mesure d'une distance en terrain incliné. — Lorsqu'on emploie la chaîne sur un terrain en pente, la chaîne

[1] Pour étalonner son pas, on parcourt, en comptant ses pas, la distance qui sépare deux bornes kilométriques sur une route à peu près horizontale.

$$\text{Longueur du pas} = \frac{1{,}000 \text{ mètres.}}{\text{nombre de pas.}}$$

On part de la jambe droite et l'on ne compte que sur le pied gauche; on double en arrivant au but : compter à chaque pas est fatigant, et l'expérience prouve que l'on se trompe plus souvent.



reposant sur le sol, la distance mesurée est AB, doit être à l'horizon.

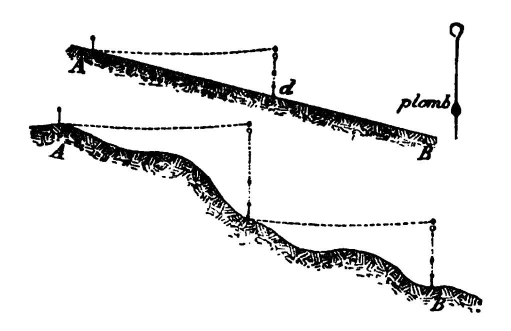
$$AC = AB \cos \alpha.$$

$$K = D \cos \alpha \text{ (voir page 19).}$$

Ce moyen de réduction, le seul rigoureux pourtant, présente un grand défaut : il exige que l'on connaisse l'angle de pente α, qui ne peut être déterminé qu'au moyen d'un éclimètre. La chaîne est donc un instrument incomplet.

Remarque. — Pour qu'il y ait nécessité de réduire les distances à l'horizon, lorsque les longueurs ne sont pas destinées à être introduites dans des calculs, il faut que $(D - D \cos \alpha)$ soit plus grand que la quantité négligeable à l'échelle adoptée, il faut $(D - D \cos \alpha) > 0{,}0001 \times M$.

Lorsque le terrain est fortement incliné ou à *pentes variées*, on procède de la manière suivante :



On mesure en descendant, on tend la chaîne horizontalement à vue; à chaque portée, on laisse tomber une fiche *plombée* de la poignée d'avant. La fiche tombe verticalement et se plante d'elle-même dans le sol.

Si la pente est uniforme, on pourra se borner à déterminer aussi exactement que possible la distance qui, réduite à l'horizon, donne 10 mètres, puis on mesurera sur le sol.

$$Ad \text{ réduit à l'horizon} = 10 \text{ mètres.}$$

$$AB \quad \text{id.} \quad = \frac{AB}{Ad} \times 10 \text{ mètres.}$$

Le chaînage se fait plus facilement et plus exactement en descendant qu'en montant; il est toujours long, pénible et peu exact en terrain mouvementé. On ne peut compter sur le coefficient d'exactitude expérimental $\frac{1}{1000}$ que dans le cas où le terrain est nu et horizontal.

Ruban d'acier. — C'est une lame mince, de 1 à 1 ½ centimètre de large, en acier recuit; terminée par des poignées comme la chaîne, ayant comme elle une longueur totale de 10 mètres.

Il peut s'enrouler en spirale pour le transport.

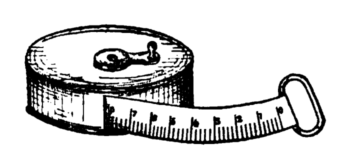
Les divisions, de décimètre en décimètre, sont indiquées par de petits trous faits à l'emporte-pièce; de cinquante en cinquante centimètres, les trous sont remplacés par des rivets en cuivre; les mètres sont marqués par un trait et un chiffre sur de petites plaques en laiton.

On s'en sert identiquement de la même façon que de la chaîne.

Il n'est pas plus commode à transporter que la chaîne, mais on peut le tendre plus facilement et il ne s'allonge pas. On peut arriver à plus d'exactitude avec le ruban d'acier qu'avec la chaîne.

D'après les expériences faites à l'École militaire depuis dix ans, on peut constater que le ruban d'acier casse fréquemment lorsqu'il forme une boucle sur le sol, et qu'on ne prend pas la précaution de le soulever avant de le tendre.

Décamètre ruban ou cordeau métrique. — C'est un ruban de fil, de 12 à 15 millimètres de large, divisé en centimètres et numéroté de décimètre en décimètre; s'enroulant sur une bobine avec manivelle tournant autour de deux tourillons qui prennent appui dans une boîte enveloppe.



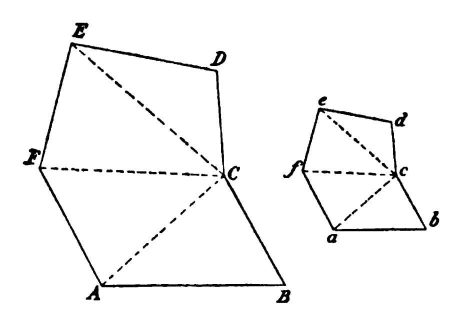
Il ne convient pas en plein air, rétrécit après avoir été à l'humidité, s'allonge à la traction, est difficile à tendre par un vent fort, ne dure guère, etc. On ne l'emploie que pour des levés de bâtiments.

Lorsqu'on fait l'acquisition d'un décamètre, il faut avoir grand soin de le vérifier, précaution qu'il faut, du reste, prendre de temps à autre dans la suite.

Levé au mètre ou à la chaîne.

On peut exécuter un levé au mètre ou à la chaîne sans le secours d'aucun autre instrument, toute surface plane pouvant

être décomposée en triangles, et un triangle étant déterminé lorsque l'on connaît la longueur de ses côtés.

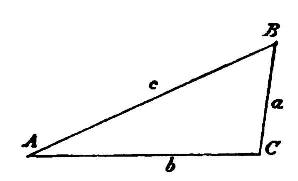


On mesure à la chaîne AB, BC et la diagonale AC.

On trace *ab*, réduction de AB à l'échelle du dessin, sur la minute; puis de *a* et de *b*, avec des ouvertures de compas respectivement égales à AC et à BC, réduits également à l'échelle, on trace deux arcs de cercle qui se coupent au sommet *c*.

Sur *ac* on construit de la même façon le triangle *acf* semblable au triangle ACF, et ainsi de suite.

Si l'on voulait déterminer la superficie dun triangle, il suffirait de résoudre la formule de géométrie :



$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}.$$

Dans laquelle :

S = surface ABC du triangle.

a, b, c les trois côtés du triangle.

$p = \frac{a+b+c}{2}$, le demi-périmètre.

Cette formule est très pratique, vu que l'on peut calculer S sans le secours d'une table de logarithmes.

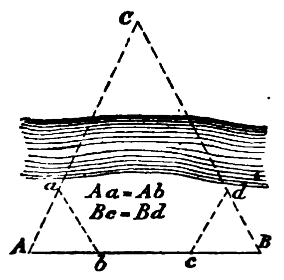
Pour connaître les angles, on pourrait employer la formule trigonométrique :

$$\operatorname{tang}^2 \frac{A}{2} = \frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}.$$

On peut aussi déterminer les angles au moyen d'une table des cordes ou d'une table des sinus naturels : voyez page 35.

S'il s'agissait de mesurer une distance AC dont l'extrémité C est inaccessible, on choisirait une base AB la plus longue possible et sur un terrain convenable pour mesurer à la chaîne; on jalonnerait les *directions* AC et BC aussi loin que possible et

l'on déterminerait les angles A et B à l'aide de l'une de ces tables (p. 35).

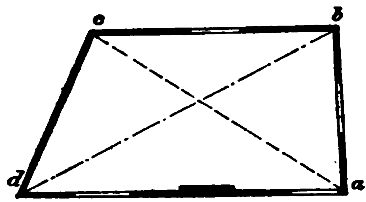


AB, A et B étant connus dans le triangle ACB, on peut déterminer AC par la table des sinus naturels et par conséquent aussi par la table des cordes, car

$$\text{Corde } \alpha = 2 \text{ sinus } \alpha/2.$$

On aura : $\dfrac{\sin B}{AC} = \dfrac{\sin[180 - (A + B)]}{AB}$.

L'emploi du mètre et du décamètre ruban de fil est d'un usage fréquent dans les levés de bâtiments : il s'agit, par exemple, de faire le plan de la salle *abcd*.



On mesure les quatre côtés et la diagonale *db*, on construit comme nous l'avons indiqué plus haut. Comme vérification, on mesure la diagonale *ac*.

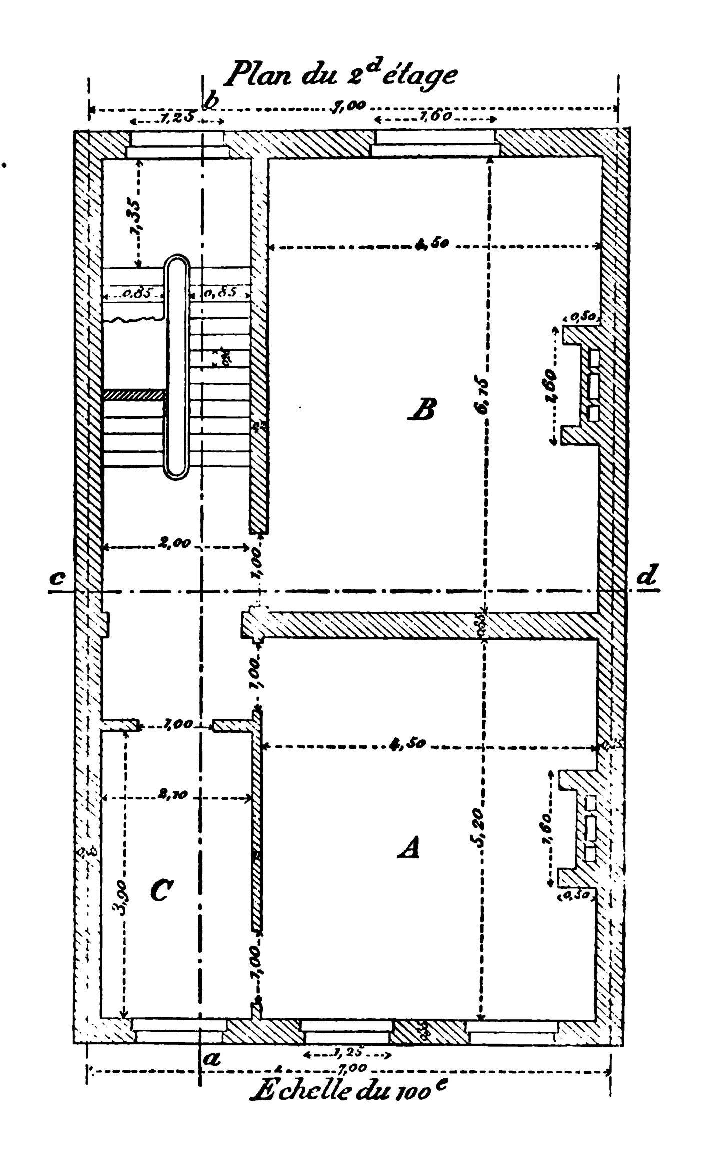
Il faut toujours chercher des moyens de vérification, c'est là une règle absolue en topographie; à défaut de vérification spéciale, on recommence une ou deux fois toutes les opérations, en sens inverse quand c'est possible.

Levé de bâtiments.

Si l'ensemble des bâtiments est important, si c'est un établissement comme l'École militaire, une caserne, un camp, on commence par établir un levé des contours extérieurs des constructions, *un plan d'ensemble*. Ce plan est levé à l'équerre d'arpenteur, au graphomètre, à la boussole, à la planchette.

Puis, on construit des *plans*, des *coupes verticales*, des *élévations* et des *croquis de détails* en nombre suffisant pour que, à l'aide de ces documents, il fût possible de réédifier les bâtiments s'ils étaient anéantis.

Les *plans* sont des sections par des plans horizontaux de toutes


Plan du 2d étage
b
1,25
1,00
1,60
1,35
4,50
0,85
0,85
0,50
B
6,15
1,60
2,00
1,00
c
d
1,00
1,00
4,50
2,10
A
5,20
1,60
0,50
3,90
C
1,00
1,25
a
1,00
Echelle du 100e

les pièces qui composent un étage, avec projection sur ces plans de tout ce qui est vu sous eux.

On fait d'habitude passer les plans sécants horizontaux :

1° Dans les *caves*, à la hauteur de la naissance des voûtes;

2° Dans les *rez-de-chaussée* et les *étages*, à dix centimètres au-dessus de la tablette des fenêtres.

Si les fenêtres ne sont pas toutes au même niveau, on fait passer le plan sécant de telle façon qu'il les coupe toutes ou du moins le plus grand nombre.

3° Dans les *greniers*, à cinquante centimètres au-dessus de la sablière [1].

4° Dans les *mansardes*, comme dans les greniers ou les étages suivant le genre de construction.

Lorsqu'il est impossible de se conformer à ces prescriptions générales, on indique, dans une note inscrite à côté du plan, sa hauteur au-dessus ou au-dessous d'un autre plan ou d'une partie importante de la construction.

Les plans sont généralement disposés de manière que la façade principale soit vers le bas du papier.

Chaque pièce des bâtiments est désignée par une lettre (capitale droite). Une *légende* fait connaître la destination de la pièce.

Plan du rez-de-chaussée. — On établit un croquis à grande échelle du plan de chaque pièce, croquis que l'on reportera plus tard sur le plan d'ensemble du rez-de-chaussée dont l'échelle sera le plus souvent le 100e.

On mesure (au cordeau, au mètre, au double-décimètre), les côtés intérieurs et les diagonales de chaque pièce et on les porte à l'échelle sur le plan croquis. Ces premières lignes forment le *canevas* du croquis, canevas auquel on rattache tous les détails : épaisseur des murs qui entourent la pièce, cheminées, portes et fenêtres, trumeaux, ornements, escaliers, meubles importants ou fixés à demeure.

---

1 Sablière, pièce de bois posée horizontalement au-dessus des maçonneries et destinée à recevoir, à porter, les extrémités des autres pièces de la charpente du toit (p. 53).



Une ligne parallèle au bord extérieur des murs, dans le plan du rez-de-chaussée, indique la saillie du soubassement.

Dans le plan au net, on conserve les lignes de construction du canevas; on inscrit les dimensions, le long du plus grand nombre possible de lignes, entre crochets < ... > et de façon que celui qui consulte le plan puisse lire sans tourner la feuille du dessin. Les cheminées s'indiquent en figurant la section du conduit et par les deux petits murs qui en forment les côtés.

On ne dessine que la baie des portes et des fenêtres. Les portes s'indiquent par une interruption dans la continuité des murs. Pour les fenêtres, on trace les lignes qui correspondent à la baie et la ligne intérieure de l'embrasure. Si des fenêtres sont situées au-dessus du plan sécant, on les projette en traits pointillés.

Les lambris, les chambranles et en général tous les ornements sont représentés par des croquis séparés.

Les escaliers sont indiqués au moyen de la projection horizontale de leurs marches. Il faut que sur chaque plan on trouve les communications qui existent pour monter ou pour descendre.

On ne figure que les meubles fixés à demeure ou qui indiquent la destination de la pièce où ils se trouvent.

Tout ce qui est coupé est hachuré à 45°. Les contours sont en traits pleins.

On suppose les rayons lumineux frappant le plan horizontal sous 45° et la trace du plan vertical qui les contient faisant 45° avec la ligne représentant la face principale, parallèle au bord inférieur de la feuille du dessin.

On renforce les traits du côté opposé à la lumière.

Si l'on veut représenter un détail caché sous un autre, on le dessine en traits interrompus ou en traits pointillés (voir les modèles exposés dans les salles d'études).

Les plans des *caves* et les plans des *étages* s'établissent d'une façon analogue.

Plan du grenier. — On construit le canevas d'une pièce du grenier en déterminant le polygone formé par les murs ou les cloisons qui l'entourent.

On rattache à ce canevas la section par le plan horizontal

passant à 0m,50 au-dessus de la sablière et les détails vus au dessous du plan.

Le toit est figuré par la section du comble [1] (voir les modèles).

Les *coupes verticales* sont des sections par des plans verticaux avec projection sur ces plans de tout ce qui est *vu au delà*.

Ces coupes donnent les détails de construction non déterminés par les *plans* : la hauteur des appartements, des portes, des

Type de ferme en charpente

Dimensions	
Tirant	50x38 c. d'équarissage
Jambe de force	30x24 "
Sablière	28x13 "
Entrait	25x24 "
Poinçon	24x24 "
Arbalétrier	22x20 "
Aisselier	21x20 "
Jambette	21x20 "

Dimensions	
Contrefiche	21x20 c. d'équarissage
Panne et Lierne	20x20
Tasseau	20x20
Faîte	20x17
Blochet	20x15
Chanlatte	18x 4
Chevron	10x10
Coyau	9x 8

Faîte
Poinçon
Contrefiche
Panne
Tasseau
Chevron
Arbalétrier
Jambette
Lierne
Entrait
Aisselier
Coyau
Sablière
Chanlatte
Blochet
Coin
Jambe de force
Tirant

fenêtres, des cheminées, des marches d'escalier, etc., la charpente, les combles, les planchers, les voûtes, etc. ; l'*inclinaison de terrain*.

Les traces des plans verticaux sont marquées sur les plans.

Exemple. — Coupe *ab*, coupe *cd* (page 50).

---

[1] *Comble :* toute construction en bois, en fer ou autres matériaux, placée au-dessus d'un édifice pour soutenir la couverture en ardoises, en tuiles, en zinc, etc.



Si l'on ne projette pas les détails vus au delà du plan, la coupe prend le nom de *profil* (voir les modèles).

Les *élévations* sont des projections de faces ou façades sur des plans verticaux qui leur sont parallèles.

Elles doivent donner tous les détails extérieurs des façades, sauf les boiseries des portes et des fenêtres.

Les *croquis de détails* complètent les renseignements fournis par les plans et les coupes. On les fait, si c'est nécessaire, à une échelle plus grande que l'on a soin d'indiquer : au 20e pour les grands détails, au 10e, 5e, $\frac{1}{2}$, pour les petits détails.

Ces croquis comportent des plans, des coupes, des élévations si c'est nécessaire. La place exacte des détails doit être indiquée à côté des dessins qui les représentent et sur les plans principaux.

Parfois on ajoute au levé un *mémoire* indiquant la situation des bâtiments, les matériaux dont ils sont construits, leur destination, leur état actuel, etc.

Si le levé de bâtiments est mis au net, les cotes, les dimensions et les lignes sur lesquelles on les écrit sont en rouge ; toutes les autres lignes sont en noir. Les hachures sont remplacées par des teintes plates, rouges pour les maçonneries, brun-jaunes pour les charpentes, bleues pour le fer, gris-pâles pour le zinc et le plomb, vert-jaunes pour le cuivre.

Des instructions complémentaires sont données pendant le levé de bâtiments exécuté à l'École militaire.

Diastimètres indirects.

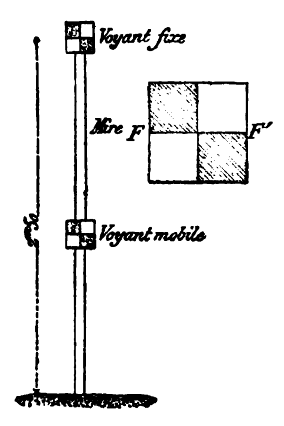
Il existe un grand nombre d'instruments de l'espèce, surtout si l'on range dans cette catégorie les *télémètres* dont nous parlerons dans la 5e Partie.

Le diastimètre indirect le plus en usage est la *lunette-stadia* ou lunette de *Porro*.

Lunette-stadia. — Elle se compose de deux instruments distincts : d'une lunette astronomique et d'une mire.

Mire. — Il existe une infinité de genres de mires, comme nous le verrons ; la description sommaire d'une seule, la mire de l'Institut cartographique militaire, nous suffit pour le moment.

C'est une latte en bois de $2^m,50$ environ de hauteur, à la partie supérieure de laquelle est fixé à demeure un *voyant*, planchette carrée ou rectangulaire de 20 à 30 centimètres de côté, divisée en quartiers peints rouge et blanc de façon à être aperçue de loin et à trancher sur les objets environnants; la ligne FF′ se distingue nettement et porte le nom de *ligne de foi;* un second voyant, tenu par un bracelet à la hampe, peut glisser le long de celle-ci et se fixer, par une vis de pression, à des hauteurs variables, en sorte que la distance qui sépare les lignes de foi des deux voyants peut augmenter ou diminuer au gré de l'opérateur.



Lunette. — La théorie de la lunette astronomique est donnée dans les leçons du cours de physique; nous ne nous occuperons que des particularités qui en font un diastimètre indirect.

La lunette astronomique, comme diastimètre et instrument servant à donner des directions (tube viseur), fait partie de la généralité des instruments de précision dont on se sert en topographie et en géodésie.

Le type que l'on emploie en topographie, que vous avez sous les yeux, se compose de trois tubes en laiton, noircis à l'intérieur pour empêcher les reflets lumineux.

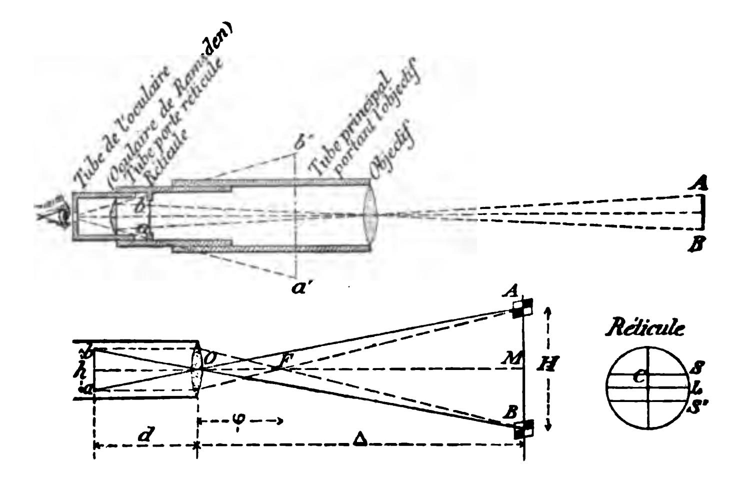
Les tubes peuvent glisser à frottement doux l'un dans l'autre. On les actionne à la main, au moyen de vis sans fin, de crémaillères ou autres mécanismes dont le maniement est très élémentaire.

La figure de la page 56 rappelle suffisamment la théorie et la description de la lunette astronomique.

Théorie de la lunette-stadia. — Le réticule ou le micromètre est formé de quatre fils d'araignée (généralement), comme l'indique la figure.

On dirige la lunette à la main sur le voyant A et, à l'aide d'une vis de rappel, on amène exactement le fil inférieur S′ du

réticule sur la ligne de foi de ce voyant; puis, au moyen de signes, le topographe fait hisser, par l'aide qui tient la mire, le voyant mobile B à une hauteur telle que sa ligne de foi soit en coïncidence avec le fil supérieur S du réticule (en termes de métier, on bissecte les deux voyants).



La distance Δ de l'objectif de la lunette à la mire est déterminée au moyen de la hauteur H qui sépare les lignes de foi des deux voyants A et B. La hauteur H est lue sur la mire.

Nous avons en effet, les triangles *oab* et *o*AB étant semblables,

$$\frac{\Delta}{d} = \frac{H}{h} \text{ d'où } \Delta = \frac{d}{h} H \ (1).$$

Cependant cette formule ne convient pas parce qu'elle n'est pas générale : *d varie* en effet avec la distance à laquelle se trouve la mire et, de plus, ne peut être mesurée exactement sur la lunette. Transformons donc l'expression (1) de façon à éliminer *d* et à n'avoir plus, dans l'expression de la valeur de Δ, que H et des quantités *invariables* données par l'instrument.

φ étant la distance focale principale de la lentille objectif, *d* la distance focale de l'image réelle *ba*, la physique nous donne la relation

$$\frac{1}{\Delta} + \frac{1}{d} = \frac{1}{\varphi}.$$

Tirons de cette formule la valeur de d que nous introduirons dans (1) pour éliminer ce facteur variable.

$$d\varphi + \Delta\varphi = \Delta d.$$
$$d(\Delta - \varphi) = \Delta\varphi$$
$$d = \frac{\Delta\varphi}{\Delta - \varphi} \quad (2)$$

Remplaçons d par sa valeur dans (1) :

$$\Delta = \frac{\Delta\varphi}{\Delta - \varphi} \times \frac{H}{h}$$
$$\Delta(\Delta - \varphi) = \frac{H}{h}\Delta\varphi$$
$$\Delta - \varphi = \frac{\varphi}{h} H \quad (3)$$

$\frac{\varphi}{h}$ ***est une constante.*** Une distance quelconque Δ, diminuée de la distance focale principale φ, est égale à la hauteur de mire H pour cette distance multipliée par $\frac{\varphi}{h}$.

$\frac{\varphi}{h}$ est ce que l'on appelle le *coefficient constant* de la lunette stadia.

La formule s'exprime $\Delta - \varphi = QH$ [1].

φ se détermine avec une approximation suffisante en visant un objet très éloigné (le coq d'une église par exemple) : On amène la croisée des fils du réticule en parfaite coïncidence avec l'image bien nette de l'objet, et le réticule est alors à très peu de chose près au foyer principal ; il suffit de mesurer, au moyen d'un double décimètre, la distance qui sépare l'objectif du réticule.

---

[1] Remarque. $\Delta - \varphi$ est égale à FM ; $\frac{\varphi}{h}$ H ou Q H est donc la distance de la mire au foyer *antérieur* de la lentille objectif.

Les rayons AFa et BFb qui concourent à la formation de l'image ab, dont la hauteur est invariablement égale à la distance h qui sépare les fils du réticule, passent par le foyer F puis par les fils a ou b : leurs directions sont donc immuables, et les voyants de la mire sont astreints à se mouvoir sur les côtés de l'angle constant AFB que l'on appelle *angle diastimétrique*.



φ, dans les lunettes topographiques, varie entre 20 et 25 centimètres.

h ne se mesure pas, mais $\frac{\varphi}{h} = Q$ s'obtient *exactement* par des expériences d'étalonnage, comme nous l'exposerons dans un instant.

La lunette, dans nos instruments de topographie, fait généralement partie d'un éclimètre.

Un éclimètre est un instrument qui permet de mesurer les angles de pente.

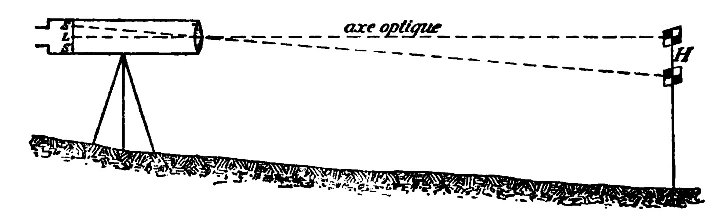
L'angle de pente d'une droite est l'angle que cette droite fait avec un plan horizontal.

La pente d'une lunette est l'angle que son axe optique fait avec un plan horizontal.

L'axe optique est déterminé par la croisée *c* des fils diamètres du réticule et le centre de figure de la lentille objectif. L'axe optique de la lunette joue donc un rôle important ; or, dans ce qui précède, nous ne nous en sommes pour ainsi dire pas préoccupé.

Pour plus de simplicité et afin de ne pas nous astreindre à faire deux visées à la lunette, une visée comme stadia d'abord, puis une visée comme éclimètre, ce ne sont pas les fils S et S′ que nous employons d'habitude dans nos levés d'école à la boussole-stadia-éclimètre, mais les fils S et L.

Nous bissectons le voyant supérieur de la mire par le fil L et le voyant inférieur par le fil S.



Cela ne change rien à la théorie générale que nous venons d'établir.

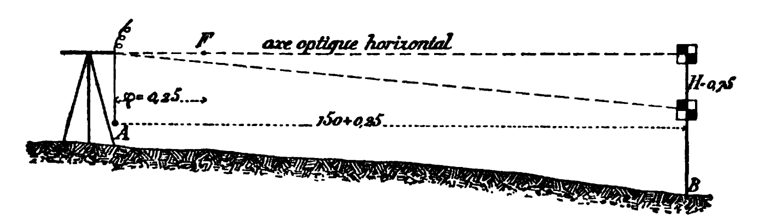
Les expériences d'étalonnage pour la détermination de Q, coefficient constant, se faisant, naturellement, au moyen des fils S et L.

Remarque. — Quand les distances sont courtes il y a avantage à employer les fils extrêmes, la hauteur de mire étant plus grande : aussi un topographe exercé se sert-il de deux coefficients.

Recherche expérimentale de Q, coefficient de la lunette-stadia.

On se sert de la formule $\frac{\Delta - \varphi}{H} = \frac{\varphi}{h} = Q$.

On mesure à la chaîne, sur un terrain *légèrement* en pente descendante, pour racheter la différence de hauteur de la mire et du support de la lunette [1], à partir de la verticale qui passe

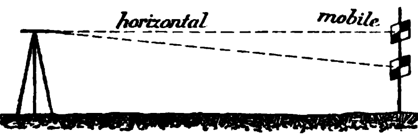


par l'objectif de la lunette, une distance AB égale à la moyenne des longueurs que l'on se propose de mesurer pendant les opérations du levé.

On fait tenir la mire verticalement en B, on bissecte les voyants par les fils L et S. L'aide amenant le voyant inférieur à hauteur voulue d'après les indications du topographe. On lit H sur la mire et on introduit AB, H et φ dans la formule qui devient

$$\frac{AB - \varphi}{H} = Q.$$

[1] On pourrait se servir d'une mire à deux voyants mobiles, opérer en terrain aussi horizontal que possible, faire d'abord amener le voyant supérieur sur l'axe optique, puis le second voyant sur le fil S: c'est un luxe de précautions.



Donnons un exemple concret et pratique : supposons la moyenne des distances à mesurer égale 150 mètres et $\varphi = 0{,}25$. Prenons sur le terrain légèrement incliné AB = (150 + 0,25), pour la facilité des calculs; nous avons lu H = 0,75.

$$Q = \frac{\Delta - \varphi}{H} = \frac{(150 + 0{,}25) - 0{,}25}{0{,}75} = 200.$$

Une expérience ne suffit pas, on recommence une ou deux fois l'opération, et, si l'on arrive approximativement aux mêmes résultats, on fait la moyenne des coefficients Q, Q′ et Q″ que l'on a obtenus.

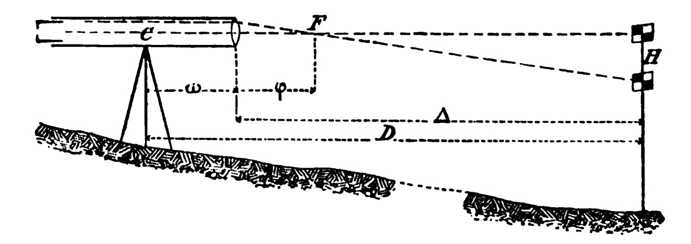
(Voir le *Programme du levé à la boussole,* à la fin de cette 2e Partie).

Rarement le constructeur aura été assez habile pour placer les fils du réticule de manière à obtenir un coefficient Q qui soit un nombre entier de dizaines; il ne faut jamais se fier aux coefficients gravés sur les lunettes-stadia.

Pour éviter les erreurs qui pourraient provenir de l'inexactitude des graduations de la mire, on fera bien de rechercher le coefficient Q à trois distances mesurées : 50, 150 et 250 mètres par exemple.

$$Q = \frac{Q^{I} + Q^{II} + Q^{III}}{3}.$$

La lunette n'est pas seulement utilisée pour mesurer les distances et les angles de pente, elle concourt encore à déterminer les angles horizontaux que font entre elles les lignes du terrain; elle constitue un élément important des goniomètres.



Le sommet de ces angles se trouvant sur la verticale passant par le centre ou le pivot de l'instrument, c'est à partir de ce sommet qu'il convient d'avoir la distance.

C'est donc D (distance du centre de l'instrument à la mire) qu'il nous faut, et la formule devient

$$D = \Delta + \omega = QH + (\varphi + \omega).$$

ω, distance de l'objectif au centre de l'instrument, se mesure sur la lunette au moyen d'un double décimètre, elle est d'environ $0^m,10$ pour nos boussoles-éclimètres.

Vérification. — Le coefficient Q étant déterminé, il est prudent de l'appliquer à la mesure d'une distance quelconque que l'on chaîne ensuite comme contrôle; du reste, dans le levé du polygone de base, on vérifie, autant que possible, à la chaîne, toutes les distances lues à la lunette stadia : cette précaution est indispensable pour les commençants.

Emploi de la stadia en terrain incliné.

Nous avons supposé dans ce qui précède que le terrain était horizontal ou, plus exactement, que nous visions horizontalement.

En réalité, le terrain n'est que fort exceptionnellement horizontal, et, le fût-il même, le genre de mire à voyant supérieur fixe et élevé de plus de $2^m,50$ que nous employons détruirait l'horizontalité de la visée.

La différence de hauteur, au-dessus du sol, de la lunette sur son trépied et du voyant supérieur de la mire est en effet de $1^m,25$ environ.

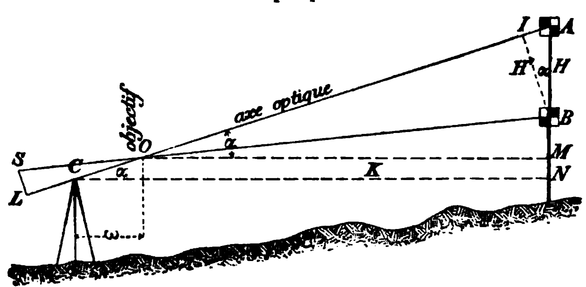
De ce défaut d'horizontalité de l'axe optique de la lunette dans les visées, naît une erreur dans l'appréciation de la hauteur de mire H : la mire, tenue verticalement, n'étant plus parallèle au plan du réticule SL, perpendiculaire à l'axe optique, les triangles AOB et SOL, dont nous nous sommes servis pour la détermination de Q, ne sont plus semblables.

Il faudrait donc que la mire fût tenue perpendiculairement à l'axe optique [1].

La distance de l'objectif au voyant supérieur A de la mire est

$$OA = OI + IA.$$

La hauteur de mire réelle pour OI est IB = H′, perpendiculaire abaissée de B sur l'axe optique.



Les triangles ABI et AOM étant semblables, l'angle IBA = α, angle d'inclinaison de l'axe optique sur l'horizon.

$$H' = H \cos\alpha$$
$$OI = QH' + \varphi = QH \cos\alpha + \varphi$$
$$IA = H \sin\alpha \text{ (dans le triangle ABI).}$$
$$OI + IA = OA = QH \cos\alpha + H \sin\alpha + \varphi.$$

Et, si nous voulons CA, la distance à partir du centre de l'instrument, il suffit d'ajouter CO = ω.

$$CA = OA + OC = QH \cos\alpha + H \sin\alpha + (\varphi + \omega).$$

Réduction à l'horizon d'une distance mesurée à la stadia.

La distance que nous employons en planimétrie et dans nos calculs de cotes n'est pas CA, mais K sa réduction à l'horizon.

---

[1] Il y a des mires, comme nous le verrons, qui peuvent être tenues perpendiculairement à l'axe optique, mais nous préférons la mire rustique de l'Institut et ne pas demander à nos aides des efforts d'attention et d'intelligence.



Le triangle ACN nous donne :

$$K = AC \cos\alpha = [QH \cos\alpha + H \sin\alpha + (\varphi + \omega)] \cos\alpha =$$
$$QH \cos^2\alpha + H \sin\alpha \cos\alpha + (\varphi + \omega) \cos\alpha.$$

$H \sin\alpha \cos\alpha$ est très petit, on l'élimine ordinairement des calculs en pratique [1].

α étant de quelques grades, $(\varphi + \omega) = 0^m,30$ à $0^m,35$ seulement, $(\varphi + \omega) \cos\alpha$ diffère très peu de $(\varphi + \omega) \cos^2\alpha$: On peut donc adopter comme formule générale et définitive :

$$K = [QH + (\varphi + \omega)] \cos^2\alpha.$$

$[QH + (\varphi + \omega)]$ est ce que nous appelons dans nos tables de réduction et nos carnets d'annotations la *distance lue à la stadia*.

K est la *distance réduite*.

Voir la *Table de réduction* de l'Annexe *C* et le *carnet d'annotations* de l'annexe *D* du *Programme du levé à la boussole-stadia-éclimètre* à la fin de cette 2e Partie.

La *table* réduit le calcul de K à de simples additions.

Elle est à double entrée : dans la première colonne sont inscrits, de grade en grade, les angles d'inclinaison de l'axe optique de la lunette; les autres colonnes donnent les réductions à l'horizon des distances, inscrites en tête de chacune d'elles, pour les angles de pente indiqués dans la première colonne.

Un exemple suffira pour en faire connaître le mécanisme :

Le coefficient de la lunette-stadia est $Q = 195$ par hypothèse;

Nous avons lu $H = 0,83$;

L'angle de pente donné par l'éclimètre est $\alpha = 6$ grades;

Enfin, $(\varphi + \omega) = (0,20 + 0,10) = 0,30$.

---

[1] Cependant, si la pente est forte et si l'échelle du levé est grande, on ne peut négliger $H \sin\alpha \cos\alpha$.

Supposons $H = 0^m,75$ (hauteur de mire pour 150 mètres environ) et $\alpha = 20$ grades.

$$H \sin\alpha \cos\alpha = \frac{H \sin 2\alpha}{2} = \frac{0,75 \times 0,58779}{2} = 0,22.$$

0,22 est plus grand que la quantité négligeable au 2000e par exemple.

La *distance lue* $= [QH + (\varphi + \omega)] = 195 \times 0^m,83 + (0,30) = 162^{ms},15$.

Réduction à l'horizon de $162^{ms},15$, distance lue à la stadia sous un angle de pente de 6 grades :

100^{ms}	sous 6 grades se réduisent	à	99,11
60	id.	id.	59,46
2	id.	id.	1,98
0,15	id.	id.	0,15
	Distance réduite	= K =	160,70

Quand y a-t-il lieu de déduire à l'horizon une *distance lue* à la stadia ?

Théoriquement, pour la planimétrie, lorsque la différence entre D^l, la distance lue, et K, la distance réduite ou

$$D^l - K = D^l - D^l \cos^2\alpha = D^l(1 - \cos^2\alpha) = D^l \sin^2\alpha$$

est plus grand que la *quantité négligeable*, représentée, comme nous le savons, par $0,0001 \times M$.

Nous faisons un levé au 2000e (échelle du levé d'application à la boussole-éclimètre) :

La quantité négligeable est $M \times 0^m,0001 = 2000 \times 0^m,0001 = 0^m,20$.

Nous ne mesurons qu'exceptionnellement des côtés plus grands que 200 mètres : cherchons *dans la table de réduction* sous quel angle la *distance lue* 200 mètres diffère de 0,20 de sa réduction à l'horizon.

Nous lisons : 200 mètres sous 2 grades se réduisent à 199,80.

Pour toute pente plus faible que 2 grades nous ne ferons donc pas de réduction.

(Par le calcul, $200 \sin^2\alpha = 0,20$ donne également $\alpha = 2$ grades.)

Pour les calculs des différences de niveau, 20 centimètres en longueur peuvent être négligés également.

L'*Institut cartographique militaire*, pour ses planchettes au 20 000e, admet que la réduction à l'horizon des distances mesurées à la stadia ne doit se faire que pour les pentes de 5 grades et au-dessus, parce que la correction que l'on pourrait



apporter est plus faible que l'incertitude qui résulte de l'emploi de la stadia.

(Institut cart. mil., Communication n° 9, *Notice sur les travaux topographiques*, par le capitaine A. Hannot, 1881.)

Pratique. — Le coefficient Q de la stadia, comme nous l'avons dit, n'est presque jamais 100, 200, et, si ce coefficient est inscrit sur le tube principal de la lunette par le constructeur, il ne faut pas s'y fier : l'expérience d'étalonnage est absolument nécessaire.

(Les fils cassent, on les remplace, et rarement on réussit à les rétablir à la distance primitive.)

Le coefficient n'est presque jamais 100 ou 200 d'abord, puis il n'est pas aussi utile qu'on pourrait le croire d'avoir un coefficient, 200 par exemple : se fiant à la facilité avec laquelle on peut faire mentalement le produit (H × 200) et ajouter ensuite 0,30, on ne se donne pas la peine de crayonner ces petites opérations, ou bien on les fait graphiquement avec peu d'attention et... l'on commet de grossières erreurs, qui entraînent avec elles des ennuis, une perte de temps considérable et des recherches souvent très longues et fort agaçantes, aussi bien à domicile que sur le terrain.

Le mieux est de préparer tranquillement chez soi une table qui réduit les calculs à de simples additions.

Cette table, des plus simples à établir, sera faite d'après le modèle de l'annexe C du *Programme du levé à la boussole-éclimètre*. Voir à la fin de cette 2e Partie. On l'inscrira sur la couverture intérieure du carnet de nivellement.

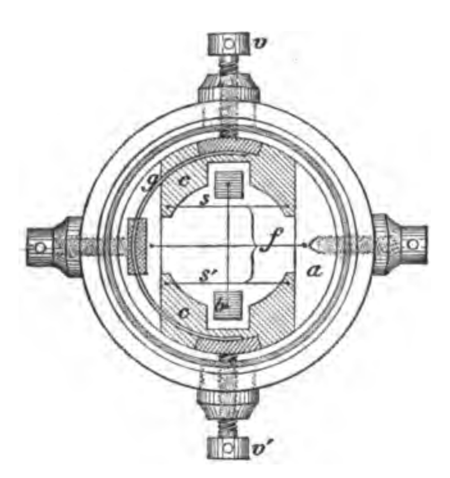
Nous conseillons même de faire une table complète du modèle indiqué à la suite de la précédente.

Nous recommandons aux élèves de faire les calculs à deux ou à trois et de collationner très soigneusement la mise au net de la table. Une erreur qui se serait glissée dans cette table serait une source de déboires continuels ; on ne penserait pas à vérifier la table, établie à domicile, et l'on perdrait son temps en vaines recherches sur le terrain.

Réticules à fils mobiles. — Les instruments allemands et les instruments suisses de notre musée de topographie sont pourvus de fils *rectifiables*.

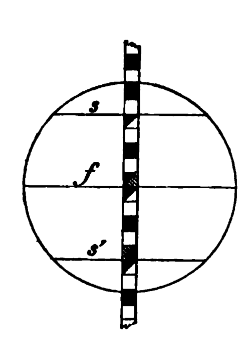
Le réticule suisse, de la maison Kern, est du système suivant :

Le fil diamètre *f* est *fixé* sur le cadre *a*, le fil diamètre vertical est *fixé* sur de petites proéminences *b* du cadre ; deux coulisseaux *c*, pouvant se mouvoir verticalement dans le cadre *a*, portent les fils horizontaux *s* et *s'* ; un ressort *g* tend à écarter les fils *s* et *s'* l'un de l'autre ; des vis *v* et *v'* peuvent vaincre la résistance du ressort *g* et permettent de rapprocher à volonté le fil *s* ou le fil *s'* du fil diamètre *f*.



Au lieu de déterminer le coefficient de la lunette, comme nous l'avons fait ci-dessus, on vérifie la position des fils *s* et *s'*, et on les établit au besoin à une distance telle que les coefficients soient 200 pour les fils *s* et *s'*, et 100 pour les fils *s* et *f* ou *f* et *s'*.

Étalonnage. — On mesure, sur un terrain à peu près horizontal, une distance égale à $100 + (\varphi + \omega)$ mètres à partir du centre de l'instrument, on fait tenir une mire à l'extrémité de cette distance. On vise la mire de manière à avoir le fil *f* sur une division bien déterminée, l'axe de la lunette étant, à quelques minutes près, horizontal. On fait ensuite mouvoir, si c'est nécessaire, les vis de correction *v* et *v'* qui actionnent les fils *s* et *s'*, jusqu'à ce que le fil *s* passe *exactement* par la division $0^{m}50$ plus bas, et le fil *s'* par la division $0^{m}50$ plus haut.



Les fils *s* et *s'* interceptent alors une hauteur de mire H = 1 mètre, et donnent le coefficient 100 ; les

combinaisons des fils *s* et *f* et *s'* et *f*, interceptant des hauteurs de mire H = 0^m50, donnent des coefficients 200.

Ce genre de réticule n'est pas nouveau : le lieutenant Wendelen, récemment pensionné comme général, en fit l'essai, au *Dépôt de la guerre* de Belgique, pendant tout l'été de la 1re campagne des travaux réguliers des nivellements de nos planchettes, c'est-à-dire en 1859; il s'en trouva bien, mais constata cependant que le système était d'un maniement délicat. A la suite de quelques autres expériences, le *Dépôt de la guerre* ne jugea pas qu'il y avait lieu d'adopter le réticule à fils mobiles, et s'en tint au réticule à fils fixes dont il se sert encore aujourd'hui.

En Suisse, les réticules à fils mobiles ne sont pas adoptés par tous les topographes, tant s'en faut; les lunettes suisses sont très soignées, et leurs réticules à fils rectifiables présentent autant de garantie que possible.

Observations pratiques.

Avant de faire une visée avec une lunette, il faut la *mettre à sa vue*, c'est-à-dire placer l'oculaire de telle façon que l'on aperçoive *très nettement* les fils du réticule.

On dirige la lunette vers le ciel (fond gris clair), on fait avancer ou reculer le tube oculaire dans le tube porte-réticule jusqu'à ce que l'œil soit absolument satisfait, puis on serre la vis ou autre système qui rend l'oculaire solidaire des mouvements du réticule.

(On arrive au même résultat en dirigeant la lunette sur une feuille de papier blanc.)

On dirige alors la lunette sur la mire :

Dans l'appréciation des hauteurs de mire, on doit amener l'image de la mire en coïncidence *parfaite* avec les fils du réticule ou micromètre; il faut que l'image vienne se former dans le plan des fils. On rapproche ou l'on éloigne à cette fin le réticule de l'objectif, en faisant mouvoir le tube porte-réticule dans le tube principal à la main ou au moyen d'une crémaillère destinée à cet usage.

On a la certitude que la coïncidence existe quand l'image de

la mire est bien nette et, lorsqu'en abaissant ou relevant légèrement l'œil à l'oculaire, les lignes de foi des voyants se maintiennent sur les fils.

Les figures ci-contre démontrent que si l'image est formée en avant ou en arrière du plan du réticule, la coïncidence ne persiste pas lorsque l'œil s'abaisse ou se relève, on constate qu'il y a une ***parallaxe.***

1er cas. — L'image est formée en avant du réticule :

Dans la position o de l'œil, la coïncidence paraît exister; dans la position o' de l'œil, l'image apparaît surélevée; dans la position o'' de l'œil, l'image apparaît abaissée.

ab est > que h.

2e cas. — L'image est formée en arrière du réticule :

Dans la position o de l'œil, la coïncidence paraît exister; dans la position o' de l'œil, l'image paraît abaissée; dans la position o'' de l'œil, l'image paraît surélevée.

ab est < que h.

Dans les deux cas donc, la hauteur ab de l'image n'est pas égale à h, l'écartement des fils du réticule, et, comme h entre dans le calcul du coefficient, on commet une erreur dans l'appréciation de la distance.

Cette dernière opération est ce que l'on appelle la ***mise au point de la lunette.***

La ***mise à la vue*** varie pour chaque observateur; elle dépend de la conformation de son œil. On la fait une fois pour toutes, si on travaille seul, et on serre la vis qui rend l'oculaire solidaire des mouvements du tube porte-réticule.

La ***mise au point*** dépend uniquement de la lunette et de la distance de la mire à la lunette; elle est la même pour tous les observateurs. On doit mettre parfaitement au point à ***chaque observation.***

Il est bon de ne pas dépasser certaines limites de distance

si l'on veut que la stadia donne des résultats satisfaisants : on estime généralement que la distance maxima pour une lunette est égale à

$$1200 \times \varphi$$

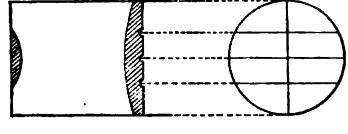
φ, distance focale principale de la lentille objectif, est d'environ 0,20 dans nos lunettes. La distance maxima qu'il convient de ne pas dépasser est donc $1200 \times 0{,}20 = 240$ mètres. On peut cependant faire d'excellentes observations, avec nos lunettes, à des distances de 400 mètres.

L'approximation donnée par la stadia est de $\frac{1}{1000}$, c'est celle de la chaîne d'arpenteur maniée avec toutes les précautions désirables.

La lunette-stadia est donc supérieure à la chaîne pour l'exécution des levés topographiques, car elle est plus rapide et permet de mesurer les distances sans les parcourir, par conséquent au-dessus d'obstacles qui rendent l'emploi de la chaîne difficile et souvent impossible [1].

Le réticule en fils d'araignée est souvent aujourd'hui remplacé par un verre ou lentille plan convexe sur la surface de laquelle sont gravés des traits très fins remplaçant les fils d'araignée, qui peuvent se briser ou se détendre sous l'influence des variations atmosphériques.

Cette lentille réticule ou *micromètre* contribue au grossissement de l'image, agrandie encore par la lentille à court foyer de l'oculaire.



La lentille micromètre et la lentille oculaire constituent ensemble un *oculaire de Ramsden.*



Dans les lunettes soignées, un *verre de champ* met les traits gravés à l'abri des poussiers.

[1] Impossible de chaîner sur les rochers, dans les bois, dans les terrains marécageux ou coupés par des fossés pleins d'eau ou traversés par de larges cours d'eau, au-dessus des ravins, etc.



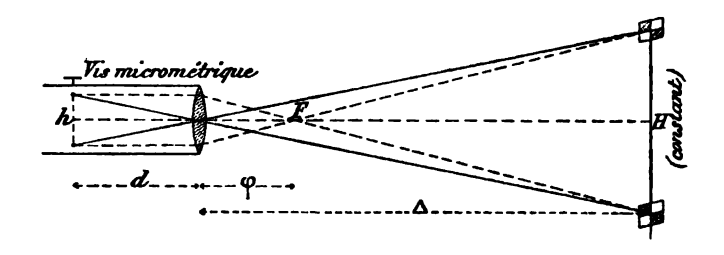
Les lunettes dont l'École militaire a fait l'acquisition en janvier 1892 avaient des micromètres gravés : les expériences nombreuses que nous avons faites pendant trois ans ne nous ont pas du tout satisfaits, nous avons fait remplacer les micromètres gravés par des réticules en fils d'araignée.

Lunette anallatique. — (Description sommaire.)

Cette lunette coûte beaucoup plus cher que la lunette astronomique simple; l'addition d'une lentille (verre anallatiseur) rend naturellement la lunette moins claire; si les lentilles ne sont pas de toute première qualité l'instrument est franchement mauvais; le système est aussi plus délicat. Nous préférons, pratiquement, une bonne lunette astronomique ordinaire.

Chorismomètre.

C'est un diastimètre indirect qui ne diffère de la lunette-stadia qu'en ce que la distance H des voyants de la mire est constante



et que *h*, l'intervalle qui sépare les fils du réticule, au contraire, varie avec la distance à mesurer.

Le réticule ou micromètre est formé de deux fils dont l'écartement se modifie au moyen d'une vis micrométrique qui, par le nombre de tours qu'on lui fait faire et qu'enregistrent des aiguilles sur des cadrans, détermine l'intervalle *h*.

Ce genre de chorismomètre n'est guère employé en topographie; on en applique le principe à la construction de télémètres et d'instruments d'astronomie.

Sa théorie est analogue à celle de la stadia.

$$\frac{\Delta}{d} = \frac{H}{h} \text{ ou } \Delta = \frac{d}{h}H,$$

d'où

$$\Delta - \varphi = \frac{\varphi}{h}H$$

ou

$$\Delta - \varphi = \varphi H \times \frac{1}{h} \qquad (1)$$

φH est constant.

$\frac{1}{h}$ varie avec la distance Δ.

Lorsque les fils sont en contact (lorsque $h = 0$), les aiguilles qui enregistrent les tours de la vis micrométrique marquent ∞ (infini) sur les cadrans. L'écartement h des fils, dans toute autre position, sera égal à la longueur p du pas de vis multiplié par n, le nombre de tours et de fractions de tours indiqués par les aiguilles.

$h = pn$, par conséquent.

Remplaçons h par sa valeur dans (1)

$$\Delta - \varphi = \varphi H \times \frac{1}{pn}$$

ou

$$\Delta - \varphi = \frac{\varphi H}{p} \times \frac{1}{n}.$$

p est une constante.

$\frac{\varphi H}{p}$ est le *coefficient constant* du chorismomètre.

On le détermine par des expériences d'étalonnage comme pour la stadia.

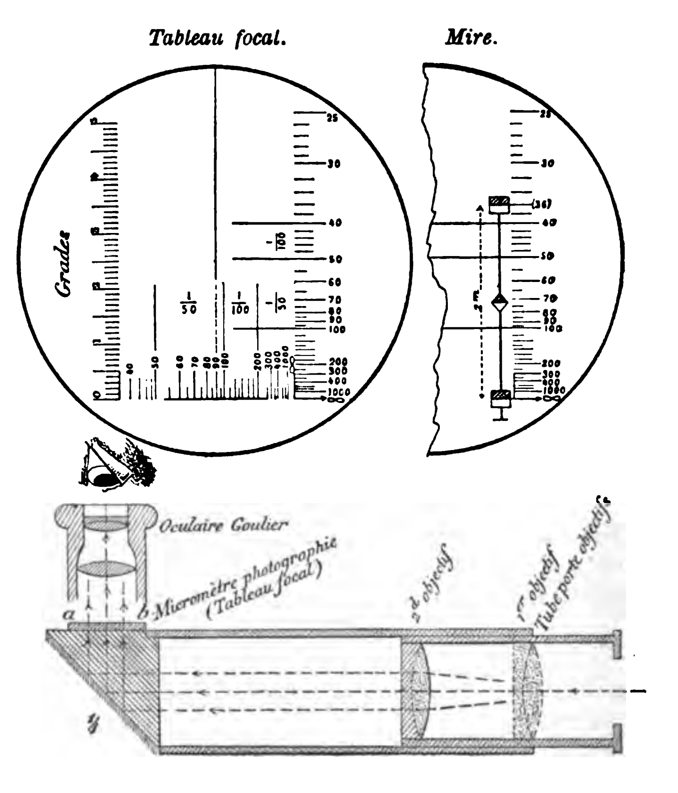
$\frac{1}{n}$ se lit sur les cadrans.

Si au lieu de deux fils, dont l'écartement peut varier au moyen d'une vis micrométrique, le réticule porte une plaque de verre délicatement rayée de traits parallèles équidistants, on apprécie h par le nombre de traits interceptés.

Lunette de la règle-éclimètre de Goulier.

Nous n'étudierons que la lunette de cet instrument.

Cette lunette est à volonté une stadia ou un chorismomètre; elle fait, de plus, partie d'un éclimètre denté de *Porro* et d'une



alidade complétant la *planchette Goulier,* que nous étudierons plus loin.

Son micromètre consiste en un tableau focal, *petite photographie* transparente, donnant la réduction de trois échelles et portant des traits plus longs indépendants des échelles.

Ces traits plus longs remplissent le même rôle que les fils des réticules de nos lunettes.

Une échelle en grades concourt, avec une roue dentée, à la mesure des angles de pente; les deux autres échelles, identiques mais perpendiculaires entre elles, permettent de lire directement les distances.

Les échelles des distances étant perpendiculaires entre elles, l'aide peut tenir la mire soit verticalement, soit horizontalement (voir, page 80, les avantages de cette faculté d'agir).

La mire est un simple jalon portant trois voyants.

Les deux voyants extrêmes, dont les lignes de foi sont espacées de 2 mètres, servent à la mesure des distances; le voyant du milieu, mobile, se place à hauteur de l'objectif de la lunette en station, et permet de viser parallèlement au sol dans la mesure des angles de pente (voir nivellement).

La lunette est coudée, très petite et cependant assez puissante. Un prisme rectangle isocèle dévie les rayons lumineux venant de la mire et les envoie dans l'œil de l'observateur à l'oculaire.

Sur la face *ab* du prisme est appliqué le micromètre photographie, de sorte que l'image de la mire vient se former parallèlement à l'une des échelles.

On dirige la lunette sur la mire, on amène le repère ∞ (infini), marqué par une petite flèche ——➤, sur la ligne de foi de l'un des voyants et on lit directement la distance à la division de l'échelle qui se trouve dans le prolongement de la ligne de foi de l'autre voyant (voyez la figure : on lit 36 mètres).

« L'erreur à craindre = 1 m. + $d2$ (d = distance en hectomètres). »

La *mise à la vue* se fait comme avec la lunette stadia, la *mise au point* s'obtient en faisant glisser à la main le *tube porte-objectifs* dans le tube principal.

La lunette est à double objectif; c'est ce dispositif qui a permis d'en réduire considérablement la longueur.

Au lieu du jalon-mire, on se sert avantageusement de mires graduées et des *traits longs* du tableau focal.

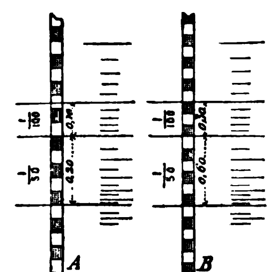
« Avec des mires divisées en $0^m,1$ ou $0^m,04$, on peut avoir,

» respectivement, le nombre de 10 mètres ou de 2 mètres » compris dans la distance, en lisant le nombre de divisions qui » paraît compris entre les traits parallèles (plus longs) écartés » de $\frac{1}{100}$ ou de $\frac{1}{50}$. »

« L'erreur à craindre est respectivement avec les deux mires de 1 m. + $\frac{1}{200}$ D et 0,20 + $\frac{1}{500}$ D. »

Employée avec ces traits, analogues à nos fils de réticule, l'instrument est une lunette-stadia telle que celle que nous avons décrite et dont le coefficient Q est respectivement 100 ou 50 et H une variable *lue* sur la mire en comptant le nombre de divisions de celle-ci comprises entre les traits dont on se sert.

Exemples. — A. les plus petites subdivisions de la mire ont 0m,04. Lecture aux traits écartés de $\frac{1}{50}$; D = QH; Q = 50; H = 5 × 0,04 = 0,20; D = QH = 50 × 0,20 = 10 mètres. Lecture aux traits écartés de $\frac{1}{100}$; Q = 100; H = 2 $\frac{1}{2}$ × 0,04 = 0,10; D = QH = 10 mètres.



B. les plus petites subdivisions de la mire ont 0m,10. Échelle $\frac{1}{50}$; D = QH; Q = 50; H = 6 × 0,10 = 0,60; D = QH = 50 × 0,60 = 30 m. Échelle $\frac{1}{100}$; Q = 100; H = 0,30; QH = 30 mèt.

Comme chorismomètre l'instrument est défectueux. Les divisions de l'échelle n'apparaissent pas aussi nettement vers le milieu qu'aux extrémités des échelles ou réciproquement; cela provient de ce que le micromètre est une surface plane agrandie par une lentille oculaire à court foyer. Ce n'est pas non plus un instrument de précision : une erreur *théorique* de 1 m. + *d*2 c'est beaucoup; il est vrai que la règle éclimètre ne s'emploie que pour lever les détails et les courbes de niveau.

Comme lunette stadia (avec traits écartés de $\frac{1}{100}$ ou de $\frac{1}{50}$) le diastimètre est très bon.

Des levés de terrain ont été faits, pendant plusieurs années, à l'École militaire, à l'aide de la règle-éclimètre et de la planchette Goulier; le travail marche rapidement, dit-on, quand la pluie ne rend pas l'usage de la planchette impossible. Il pleut malheureusement très souvent dans notre pays (voir *Planchette)*.

Des *tableaux focaux* du même genre sont adaptés aux lunettes droites de plusieurs instruments de Goulier [1].

En France, les topographes se servent beaucoup de la règle-éclimètre et s'en trouvent, paraît-il, fort bien. Nous préférons la boussole-stadia-éclimètre.

Mires.

Il existe une grande variété de mires : mires simples à un, deux, trois voyants; mires à un voyant fixe et un voyant mobile, mires à deux voyants mobiles; ... ; mires verticales, horizontales; mires à coulisse, à rallonge, à charnière, à tringle; mires parlantes, etc. Les couleurs dont elles sont peintes et la disposition de ces couleurs sont aussi variées que leurs formes.

Mire stadia de l'Institut cartographique. — C'est une règle de $2^{m},67$ environ de haut, portant deux voyants, l'un fixe au sommet de la mire, l'autre mobile le long de la règle, à laquelle il est attaché par un bracelet ou collier rectangulaire.

La face postérieure de la règle est divisée en doubles centimètres, alternativement rouges et blancs, à partir du centre du voyant supérieur; la graduation est chiffrée en descendant. Les faces latérales de la règle sont aussi graduées en centimètres, l'une en descendant, l'autre en montant.

---

[1] Nous voudrions consacrer plusieurs séances à l'étude de la collection si variée et si intéressante des instruments créés ou perfectionnés par feu le colonel du génie français Goulier, l'inventeur le plus fécond en fait d'instruments et de méthodes pratiques de topographie.

Le petit nombre de leçons affectées au cours de topographie (16 à la section Artillerie et Génie, 22 à la section Infanterie et Cavalerie), ne nous permet que de jeter un coup d'œil sur tout ce qui concerne les cartes et d'étudier, en détail, les seuls instruments que nous manions sur le terrain à Bruxelles et à Anvers.

La règle-éclimètre s'emploie avec l'ingénieuse planchette Goulier dont nous possédons une douzaine de spécimens : notre levé de fortifications se fait à la planchette Goulier (voir plus loin sa description), mais nous nous servons de l'alidade à lunette, que nous préférons à la règle-éclimètre pour ce genre de levé.



Une vis de pression permet au *porte-mire* de fixer le voyant mobile à la hauteur que désire le topographe.

Un ressort-lame, logé entre la règle et la coulisse du voyant mobile, empêche ce voyant de descendre par son propre poids, compense les dilatations de la règle dans la coulisse et régularise les mouvements de glissement.

Un index, petite lame de cuivre divisée en millimètres, est soudée au bracelet du voyant mobile, et permet de lire, à un millimètre près, les hauteurs de mire (Voir l'instrument).

Pour être utilisée comme *mire parlante*, la mire stadia porte sur sa face antérieure des rectangles de dix centimètres de haut, peints rouge, bleu et blanc, variant de couleur de décimètre en décimètre. L'origine des divisions est la ligne de foi du voyant fixe. Des

Note. — Quelquefois le talon porte, perpendiculairement à la direction de la règle, une pédale sur laquelle l'aide, qui tient la mire, appuie le pied pour la maintenir avec plus de facilité dans une direction verticale. Les pédales sont parfois utiles et généralement fort incommodes.

graduations de 2 en 2 centimètres sont peintes le long des bords verticaux du voyant supérieur, les milieux des pleins des graduations de gauche étant en regard des joints de celles de droite [1].

Voici comment ce dispositif permet au topographe de lire à l'aide de sa lunette, à moins d'un demi-centimètre près, la hauteur de mire interceptée par les fils du réticule.

Supposons que les fils du réticule coupent d'abord la mire, le fil L par la ligne de foi du voyant supérieur, le fil S par un point quelconque plus bas, voyez la figure : il est facile, par les variations de couleurs, de déterminer immédiatement, *en les comptant,* le nombre de décimètres compris entre les deux fils. Des rectangles peints en diagonale de $0^m,50$ en $0^m,50$ facilitent cette évaluation.

Il reste ensuite à apprécier la fraction de décimètre en plus qui peut exister entre le fil S et la première division en décimètres au-dessus de celui-ci.

On relève l'axe optique de la lunette jusqu'à ce que le fil inférieur bissecte la division immédiatement supérieure; le fil supérieur, relevé de la même quantité, coupe alors les graduations de 2 centimètres, peintes à droite et à gauche du voyant fixe, et il est aisé de déterminer le nombre de centimètres compris entre le fil L, dans sa seconde position, et la ligne de foi de ce voyant.

On ajoute ces centimètres aux décimètres lus sur la règle.

Un exemple fera saisir le procédé.

On lit d'abord, au fil S (1re position), 4 décimètres + *mn*. On remonte le fil inférieur de la quantité *mn* en agissant sur la vis de pointage (vis de rappel) : le fil supérieur s'élève de la même quantité *mn*; ce dernier fil vient raser la partie supérieure de la seconde division bleue (gauche) ; *mn* est donc égal $3 \times 2 + 1 =$ 7 centimètres. Comme contrôle, on constate que le fil passe au milieu d'une division blanche du côté rouge : $3 \times 2 + 1 =$ 7 centimètres.

La hauteur de mire est $H = 0^m,47$.

La lecture à la mire parlante est *beaucoup plus rapide* que la

[1] Les divisions de droite ont été mal dessinées.



lecture à l'index du voyant mobile. Il faut un aide adroit, exercé et connaissant son topographe pour arriver, sans de nombreux tâtonnements, à placer la ligne de foi du voyant mobile, au moyen des signes que lui fait le topographe, sur le fil supérieur du réticule ; la difficulté augmente encore par les temps humides, si fréquents dans notre pays, le bois gonfle et les mouvements de glissement sont durs et saccadés. La manœuvre du voyant mobile est difficile lorsque la distance est petite, H est alors petit et le voyant mobile doit être hissé très haut.

PRESCRIPTIONS PRATIQUES. — Pour le levé du canevas, on lira les distances au moyen des deux voyants d'abord, et, *comme contrôle*, on lira à la mire parlante, en faisant au préalable abaisser complètement le voyant mobile.

La lecture à la mire parlante se fait avec une rapidité telle qu'on aurait tort de se priver de cette précieuse vérification. L'aide, fort souvent, lit parfaitement les millimètres et commet de grossières erreurs dans la lecture des centimètres et même des décimètres.

Pour les détails et le nivellement par rayonnement on se contentera d'apprécier la hauteur de mire à la mire parlante.

Conditions de construction. — Les graduations doivent être bien exactes, leur origine être la ligne de foi du voyant supérieur ; le zéro (ou dix) de l'index doit être à hauteur du centre du voyant mobile.

Vérifications. — On s'assure de ce que les graduations sont exactes au moyen d'un mètre et d'un double décimètre. On reconnaît que le zéro de l'index et le zéro d'origine, sur le revers, sont à hauteur des lignes de foi en prolongeant ces lignes sur les côtés et les revers des voyants, ou bien en mesurant au mètre l'écartement des lignes de foi des deux voyants et en s'assurant de ce que la lecture à l'index donne la même mesure.

Il est de toute nécessité de vérifier avec soin cet instrument, dont la mise en couleur est effectué par un ouvrier peintre n'ayant souvent aucune idée sérieuse des conditions de construction qu'il doit remplir.

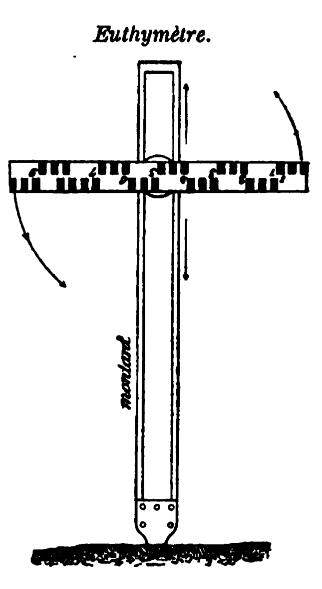
La mire de l'Institut porte encore des divisions en centimètres sur les faces latérales de la règle : on se sert de ces graduations pour mesurer des hauteurs d'instruments, dans le levé des détails, etc.

Appréciation. — La mire de l'Institut a fait ses preuves dans le levé de la carte de Belgique; c'est un instrument solide, très simple, rustique, relativement léger. Le topographe peut lire rapidement, avec facilité et sécurité; la manœuvre de la mire ne demande pas que l'aide soit bien intelligent.

Euthymètre.

Il se compose (voir l'instrument et le schéma ci-dessous) d'un montant gradué, portant une règle qui peut être placée soit horizontalement, soit verticalement.

Euthymètre.

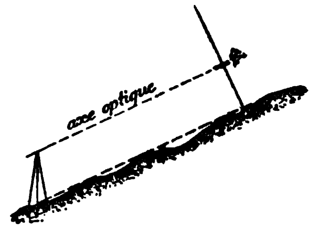


Cette règle se meut circulairement autour d'un pivot que l'on peut faire monter ou descendre à volonté dans la coulisse du montant.

Un excentrique de calage maintient la règle à la hauteur que l'on désire.

Un niveau sphérique ou un petit pendule permet d'assurer la verticalité du montant, tandis qu'une lunette ou un simple tube viseur dont l'axe est perpendiculaire au montant permet, si on le désire, d'établir le montant perpendiculairement à la ligne de visée ou axe optique de la lunette du topographe; l'aide dans ce dernier cas vise le topographe en inclinant en avant ou en arrière le montant de la mire.

En résumé, ce sont plusieurs mires combinées, dont l'une peut prendre la position horizontale à une hauteur de 0^{m},20 à 2 mètres au-dessus du sol. (Quand la mire est tenue horizontalement, il faut faire exécuter un quart de tour au tube porte-réticule de nos lunettes.)



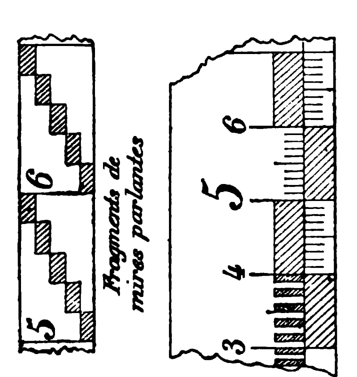
Appréciation. — La lecture sur une mire horizontale a l'avantage, en terrain incliné, de supprimer la correction nécessitée par le défaut de parallélisme qui existe entre la mire verticale et son image formée dans le plan du réticule. (Voir p. 61.)

Les moissons, les taillis, les mouvements de terrain, peuvent cacher le voyant inférieur de la mire de l'Institut; en revanche, il faut un grand espace dépourvu de branches d'arbres pour que la règle horizontale de l'euthymètre ne soit pas en partie masquée. On peut, il est vrai, abaisser la règle à volonté, mais il faut cependant la tenir à 2 mètres de hauteur (maximum), pour éviter les vibrations de l'air qui sont plus fortes près du sol.

Les deux rayons visuels partant des deux voyants de la mire de l'Institut, qui ne sont pas à la même hauteur au-dessus du sol, ne traversent pas les mêmes couches d'air et se réfractent par conséquent inégalement : de là une erreur dans l'appréciation de la hauteur de mire. Sous ce rapport, l'euthymètre réalise un perfectionnement sérieux.

L'euthymètre coûte plus cher, il est moins rustique que la mire stadia de l'Institut, il exige un aide plus intelligent et plus exercé; pour ces raisons, nous concluons qu'il est généralement moins pratique.

L'étude de l'euthymètre est intéressante parce que cet instrument est une application de presque tous les genres de mires : mires horizontales, verticales, parlantes; à voyants fixes (le revers de la règle porte des traits espacés de 1 mètre et de 2 mètres), à voyant mobile; graduées en centimètres, doubles centimètres, quatre centimètres, décimètres, etc.



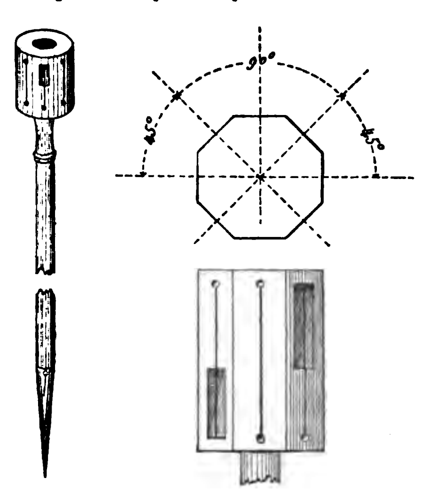
Fragments de mires parlantes

Voyez la mire à coulisse, Chap. II, la mire parlante à rallonge du génie français, la mire suisse (comme particularité, cette dernière est peinte noir et blanc), les fragments de mire de la figure ci-contre.

Goniomètres.

Les goniomètres sont des instruments dont on se sert pour mesurer l'amplitude des angles. Ils donnent généralement les angles réduits à l'horizon.

L'***équerre d'arpenteur*** est le plus simple, le plus élémentaire et aussi le plus répandu des goniomètres [1].



Cet instrument se compose d'un cylindre ou d'un prisme droit à huit pans égaux. Il est en cuivre, haut de 8 à 12 centimètres, large de 5 à 8. On le fixe sur un jalon, qui lui sert de support pendant les opérations, au moyen d'une douille.

Pour transporter l'équerre, on enlève la douille que l'on introduit à l'intérieur du prisme par l'ouverture pratiquée dans sa base supérieure; la douille est ensuite vissée dans son écrou.

Les huit faces du prisme sont percées chacune d'une ouverture verticale appelée *pinnule;* quatre d'entre elles situées dans deux plans qui se coupent à angles droits, sont moitié simple fente et moitié fenêtre rectangulaire; la fenêtre d'une face correspond à la fente de la face diamétralement opposée et est traversée d'un fil ou crin destiné à couvrir le jalon visé.

Les quatre autres pinnules, dont les plans coupent les plans des premières à 45 dégrés, sont des traits de scie en ligne

---

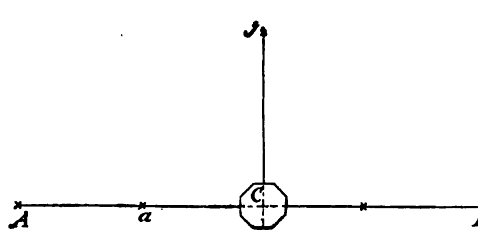
[1] L'équerre d'arpenteur n'est pas, au sens strict du mot, un goniomètre; il ne peut donner la mesure des angles : c'est un instrument qui permet de construire des angles de 90° et de 45° sur le terrain.

droite, terminés par de petits œilletons appelés *fenêtres rondes* [1].

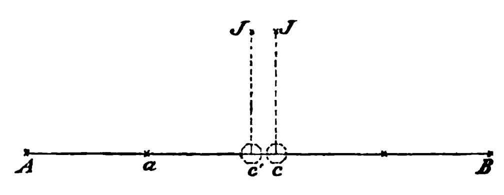
Les plans de visée, ou *plans de collimation*, peuvent donc faire entre eux des angles de 45 et de 90 degrés.

L'équerre d'arpenteur sert : 1° à élever une perpendiculaire en un point situé sur un alignement donné; 2° à abaisser, sur un alignement, une perpendiculaire d'un point extérieur; 3° à déterminer sur le terrain des angles de 45°.

Mode d'emploi. — 1° Soit à élever une perpendiculaire en un point C de l'alignement *jalonné* AB.



On plante bien verticalement son équerre au point C. (On se sert du fil à plomb si l'on n'a pas une grande habitude de l'instrument, voir *Jalon*, p. 38.) On amène un des plans de visée dans l'alignement AB, en faisant tourner le pied de l'instrument à la main [2] pendant que l'on tient l'œil à l'une des fentes et que l'on couvre les jalons de l'alignement par le crin de la fenêtre opposée. Plaçant ensuite l'œil derrière la fente du plan de visée perpendiculaire au premier, on fait établir, par un aide, un jalon J dans ce plan.



2° Soit à abaisser une perpendiculaire du point J sur l'alignement *jalonné* AB.

On plante l'équerre au point que l'on juge être le pied de la perpendiculaire, *c'* par exemple, on amène un des plans de visée dans l'alignement AB et l'on regarde si le plan de visée,

---

[1] Ces fenêtres rondes ont pour but de donner plus de champ à la visée.

[2] On fait pivoter le jalon. On vend des équerres avec douille munie d'un axe de rotation.

perpendiculaire au premier, passe par J; s'il passe à côté, par J′ par exemple, on apprécie à vue la distance JJ′ et l'on change l'équerre de place en la rapprochant de B d'une quantité JJ′; on vérifie de nouveau,... et, après une série de tâtonnements plus ou moins longue selon l'habileté de l'opérateur, le point *c*, pied de la perpendiculaire, est exactement déterminé.

On acquiert vite de l'habileté.

3° On construit un angle de 45° de la même façon que l'on a construit un angle droit, en employant les fentes et les pinnules qui conviennent pour cette opération.

Vérifications. — Il faut, avant d'accepter une équerre d'arpenteur, s'assurer :

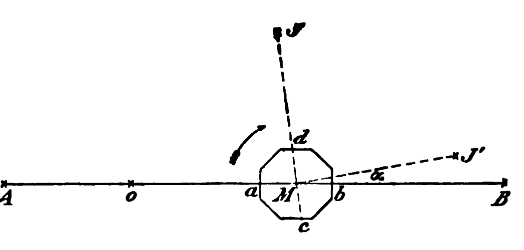
1° Que deux fentes ou deux pinnules opposées déterminent un *plan,* plan qui doit être vertical lorsque le jalon qui sert de support à l'équerre est planté verticalement.

On établit soigneusement l'instrument *en station,* le pied bien vertical au moyen d'un fil à plomb; on vise un autre fil à plomb suspendu à l'abri du vent et, promenant l'œil tout le long d'une pinnule, on doit constater que le crin de la fenêtre opposée couvre exactement le fil à plomb ou, si c'est une fente, que le fil est constamment parallèle à ses bords verticaux. On fait passer successivement tous les plans de visée par le fil à plomb.

Si le fil à plomb n'est pas suspendu à l'abri du vent, on plonge sa balle dans un baquet rempli d'eau pour que le fil reste immobile.

2° Que les plans de visée font entre eux des angles de 45 degrés et de 90 degrés.

On jalonne un alignement AB; on se place en station en un point M sur AB; on amène le plan de visée *ba* dans l'alignement AB; on élève une perpendiculaire MJ; faisant ensuite tourner l'instrument de 90° vers la droite, on amène le plan de visée *ba* dans

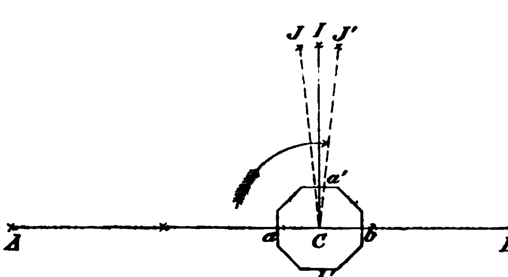


la direction MJ ; on élève une perpendiculaire MJ′ : l'angle AMJ′ étant égal à deux fois l'angle *dMa* de l'équerre, si *dMa* = 90° AMJ′ est une ligne droite, c'est-à-dire que J′ est dans l'alignement AB.

Dans le cas représenté dans la figure, *dMa* est plus petit que 90° et l'angle α mesure le double de l'erreur dont l'équerre est affectée.

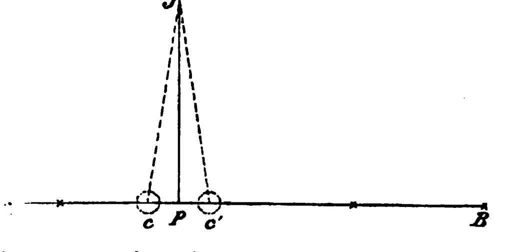
On vérifie par des moyens analogues les angles de 45° ; ces angles sont rarement exacts, mais on ne les emploie presque jamais.

On peut tirer parti d'une équerre mal construite ou d'une *fausse équerre.*



1° Élever une perpendiculaire. On construit en C deux angles ACJ et BCJ′ à l'aide du *même* angle de l'équerre ; on fait planter un jalon I au point milieu de la ligne qui joint les jalons J et J′. La ligne CI est la perpendiculaire.

2° Abaisser une perpendiculaire. On construit deux angles ACJ et JC′B à l'aide d'un même angle de l'équerre, supposé plus grand que 90 degrés dans la figure ; on plante un jalon P au milieu de la distance CC′ ; P est le pied de la perpendiculaire abaissée de J sur AB.



Ce sont là des procédés que l'on n'emploie qu'avec une équerre que l'on construit soi-même dans un moment de presse, il faut refuser une équerre du commerce qui n'est pas bien construite.

Limite de visée à l'équerre d'arpenteur. — A 30 ou 40 mètres l'épaisseur du crin couvre déjà deux jalons (voir *Pantomètre)*.

On ne dépassera pas 50 mètres si l'on veut opérer avec quelque exactitude. Les géomètres-arpenteurs vont bien au delà, et sans grand inconvénient, lorsqu'il ne s'agit que de faire le plan ou d'évaluer la superficie d'une parcelle isolée.

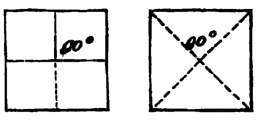
Équerre allemande. — Elle se compose de deux règles métalliques assembées à angle droit.

Sur chaque règle s'élèvent deux pointes fines destinées à guider le rayon visuel, à déterminer les plans de visée.

Les pointes *a*, *b* et *c* sont à égale distance du centre *o* de l'instrument, la pointe *d* à une distance $od = \frac{db}{2}$.

L'équerre peut ainsi servir à construire des angles de 30, 45, 60, 75, 90 et 120 degrés. A la partie inférieure de l'équerre est fixée une douille destinée à recevoir le bout d'un jalon.

Équerre de circonstance. — L'équerre est utile pour résoudre une foule de petits problèmes en reconnaissance ou en campagne. On construira toujours facilement et rapidement un instrument dans le genre de l'équerre allemande : on tracera, sur un morceau de carton ou sur une planchette de caisse à cigares, deux droites qui se coupent perpendiculairement, et l'on piquera des épingles à leurs extrémités ; on fixera cette équerre improvisée sur le bout d'un bâton, au moyen d'une pointe de Paris, si l'on veut un support.



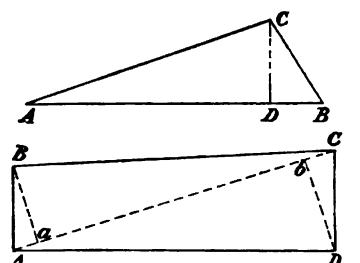
Un carré de papier plié en quatre donne deux plis à angle droit.

Levé à l'équerre d'arpenteur.

L'équerre ne s'emploie que pour lever des polygones de petite superficie; c'est un instrument d'arpentage, c'est-à-dire qui sert à mesurer des parcelles de terre, des arpents [1].

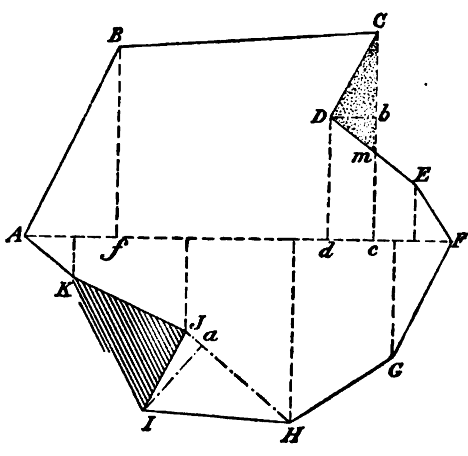
En topographie, on en fait un excellent usage pour le levé des détails.

Pour lever un polygone à l'équerre, on choisit un ou plusieurs axes sur lesquels on abaisse des perpendiculaires des sommets du polygone; on mesure les axes, les perpendiculaires et la distance de leur pied à l'une des origines de l'axe sur lequel elles sont abaissées.



Exemples. — *a)* Triangle ABC : on prend comme axe le côté AB sur lequel on abaisse la perpendiculaire CD; on mesure AB, AD et CD.

b) Quadrilatère ABCD : on prend comme axe une diagonale; on décompose de cette façon la figure en deux triangles : on mesure AC, A*a*, *ab*, *b*C, B*a* et D*b*.



Vérifications. — A*a* + *ab* + *b*C = AC; si le travail est important, on répète l'opération en prenant BD comme axe, on mesure les quatre côtés.

c) Polygone présentant des angles rentrants : on choisit comme axe une diagonale AF; on abaisse des perpendiculaires de tous les sommets sur cet axe et l'on forme ainsi des trapèzes et des triangles faciles à construire et à évaluer.

Mais, supposons que les côtés KJI sont les limites

[1] L'*arpent* est une vieille mesure agraire, de superficie variant d'après les lieux comme toutes les mesures anciennes, valant en moyenne 50 ares.

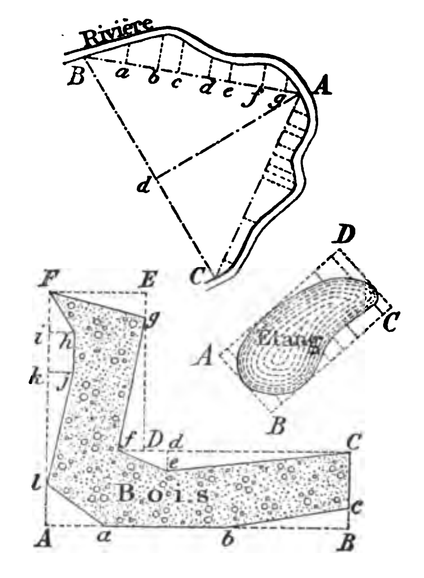
d'un bâtiment, et qu'il est impossible d'abaisser une perpendiculaire de I sur AF : dans ce cas, on forme un triangle IJH, sur la base JH duquel on abaisse une perpendiculaire I*a*.

S'il ne s'agit que de construire le plan du polygone, les ordonnées D*d* et C*c* suffisent pour tracer le côté DC; mais s'il faut déterminer la superficie du polygone, on devra lever le triangle CD*m* en abaissant une perpendiculaire D*b* sur C*m* que l'on mesurera.

On retranchera le triangle CD*m* de la somme des superficies de tous les triangles et trapèzes.

On pourrait aussi se contenter de mesurer C*c*, *cm* et *dc;* on aurait ʃBCD*mc* = ʃBC*c* — *d*DC*c* + *d*D*mc*.

d) On veut lever les sinuosités d'une rivière : On choisit un ou plusieurs axes pour ne pas avoir de perpendiculaires trop longues à mesurer; on décompose la courbe formée par le bord de la rivière en lignes sensiblement droites; on forme ainsi des triangles et des trapèzes.



e) Il s'agit de lever un étang :

On construit sur le terrain un rectangle enveloppant l'étang et l'on abaisse des perpendiculaires sur les côtés du rectangle pris pour axes, on construit ainsi un polygone de base enveloppant.

f) C'est un bois à l'intérieur duquel il est impossible de mesurer à la chaîne et d'abaisser des perpendiculaires.

On a recours à un procédé analogue à celui qui vient d'être donné pour lever un étang : on construit autour du bois un polygone à angles droits.

Arpentage. — Les plantes, les arbres, la végétation en un mot croît dans une direction verticale; un terrain incliné ne produit pas plus, dit-on, que ne produirait un terrain dont la superficie serait égale à sa projection horizontale : c'est donc la réduction des lignes à l'horizon que devrait porter l'*arpenteur* sur ses plans, et ce sont les lignes réduites à l'horizon qu'il devrait introduire dans ses calculs de superficie (Voir *Chaîne d'arpenteur*, page 46). La loi, croyons-nous, ne prescrit rien à ce sujet.

Les ex-officiers sortis de l'École militaire ont qualité pour être assermentés, sans nouvel examen, à l'effet d'exercer comme géomètres-arpenteurs. (A. R. du 8 juin 1888.)

Problèmes à l'équerre. — 1° Trouver la longueur d'une ligne du terrain, dont une des extrémités est inaccessible.

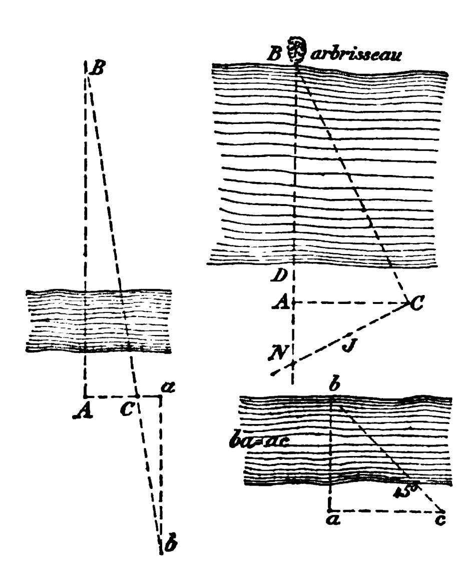
B est inaccessible : perpendiculaire en A sur AB; perpendiculaire en C sur CB; déterminez le point d'intersection N des alignements BA prolongé et CN; mesurez AC et AN.

$$\overline{AC}^2 = AB \times AN.$$

$$AB = \frac{\overline{AC}^2}{AN}.$$

Ou bien : perpendiculaire à AB, figure plus bas; mesurez Aa; perpendiculaire à aA, mesurez ab; cherchez l'intersection C des alignements Bb et Aa : les triangles ACB et aCb sont semblables.

2° Déterminer la largeur d'une rivière, sur laquelle on veut lancer un pont.



On choisit un arbrisseau, une fleur, un signal quelconque bien visible, sur la rive opposée; on emploie le moyen décrit plus haut, et l'on retranche AD de la longueur calculée AB.

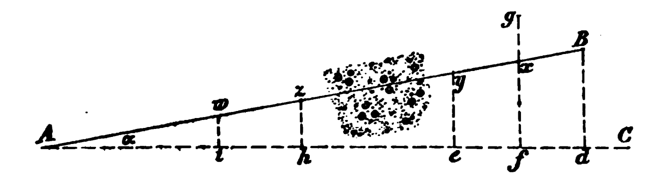
Ou bien : on élève une perpendiculaire en a, on cherche par tâtonnement le sommet c du triangle rectangle isocèle abc. — Angle de 45° de l'équerre.

3° Tracer un alignement entre deux points A et B, tels que de l'un on n'aperçoive pas l'autre.

Un bois, par exemple, masque la vue.

On trace un alignement AC qui fait, avec celui qu'il faut déterminer, un angle α le plus petit possible; on abaisse une perpendiculaire de B sur AC; on mesure A*d* et B*d*.

Pour déterminer un point de l'alignement AB, entre le bois et B, on élève sur AC une perpendiculaire que l'on jalonne,



soit *fg* ; on mesure A*f* et l'on calcule *fx* que l'on porte sur *fg*.

Les triangles AB*d* et A*xf* sont semblables.

$$\frac{dB}{fx} = \frac{Ad}{Af}.$$

$$fx = \frac{dB \times Af}{Ad}.$$

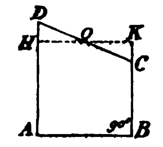
x est un point de l'alignement. On obtiendrait un point *z* par le même procédé.

4° Prolonger un alignement A*wz* au delà d'un obstacle à la vue.

Procédé analogue à celui qu'on a employé pour résoudre le problème précédent : on trace un alignement AC; on abaisse une perpendiculaire de *z* sur AC; on mesure A*h*, *zh* et A*d*; on élève une perpendiculaire en *d*, on calcule *d*B.

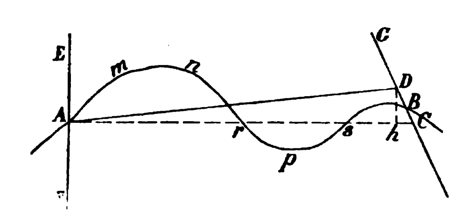
Arpentage. — 1° Transformer un trapèze rectangle ABCD en un rectangle équivalent.

Prenez DH $= \frac{1}{2}$ (AD — BC); par le point H, élevez sur AD la perpendiculaire HK; prolongez BC : le rectangle ABHK sera équivalent au trapèze. En effet, le triangle *en plus* CKO est égal au triangle *en moins* DHO.



2° Deux terrains compris entre les droites EF, GH, TZ, sont séparés l'un de l'autre par une ligne *ondulée* A*mrps*B [1] : on demande de remplacer cette limite par une *droite* partant du point A.

Menez la droite AC qui, à vue, remplisse à peu près la condition imposée ; évaluez ensuite les surfaces comprises entre cette droite et les courbes A*mnr*, *rps*, *s*B ; ajoutez la première à la troisième et retranchez-en la seconde. Soit *d* le reste, supposé *positif* : il suffira de mener *au-dessus* de AC une droite AD, telle que le triangle ACD soit égal à $\frac{1}{2}$ *d*; cette droite sera la limite demandée. Pour la déterminer de position, on a la formule :



$$AC \times Dh = d,$$

d'où

$$Dh = \frac{d}{AC}.$$

Instruments basés sur la double réflexion.

Memento. — (Voir le *Cours de physique* pour plus de détails.)

Lois de la réflexion de la lumière. — Lorsqu'un rayon lumineux rencontre une surface polie, il se réfléchit suivant les deux lois ci-après :

1° L'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence, $\beta = \alpha$.

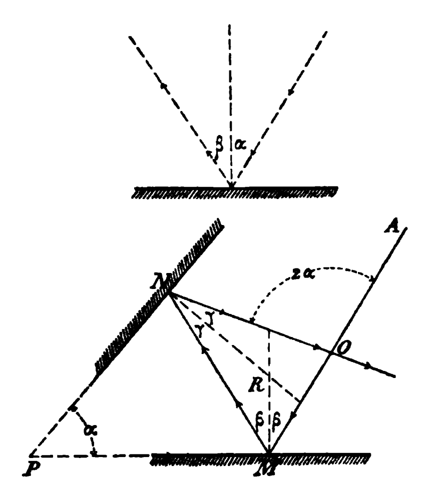
2° Le rayon incident et le rayon réfléchi sont dans un même plan, perpendiculaire à la surface réfléchissante.

Double réflexion. — Si l'on a deux miroirs M et N dont les

---

[1] Un ruisseau que l'on a supprimé, par exemple.

surfaces sont normales à un même plan, si un rayon lumineux AM frappe d'abord le miroir M et que celui-ci l'envoie dans le miroir N qui le réfléchit à son tour, le rayon doublement réfléchi NO fait, avec le premier rayon incident AM, un angle AON double de l'angle dièdre α formé par les surfaces des deux miroirs.



Triangle MNO,

$$\text{angle extérieur AON} = 2\beta + 2\gamma = 2(\beta + \gamma) \quad (1)$$

Quadrilatère PNRM, $\quad R + \alpha = 180 \quad (2)$

Triangle MNR, $\quad R = 180 - (\beta + \gamma) \quad (3)$

Remplaçons R dans (2) par sa valeur tirée de (3)

$$180 - (\beta + \gamma) + \alpha = 180$$

$$\alpha = \beta + \gamma$$

ou

$$2\alpha = 2(\beta + \gamma) \quad (4).$$

Les seconds membres des égalités (1) et (4) sont identiques, les premiers membres sont donc égaux.

$$\text{AON} = 2\alpha.$$

Signalons dès à présent un inconvénient sérieux inhérent à tous les instruments basés sur la double réflexion.

Les observations devant être faites dans un plan perpendiculaire aux deux miroirs, *dont les surfaces sont très petites*, il est très difficile de s'en servir en terrain varié.

Ces instruments sont aussi fort délicats : les miroirs se

dérangent très facilement; si les miroirs sont en verre, ils manquent de précision et perdent leur étamage; s'ils sont en métal, ils se ternissent ou s'oxydent à l'humidité. Ces derniers défauts, disparaissent, ou sont considérablement atténués, quand les miroirs sont constitués par les faces d'un prisme taillé dans un bloc de verre, comme dans les équerres à prisme, les télémètres Goulier, Souchier, Stroobants, etc.

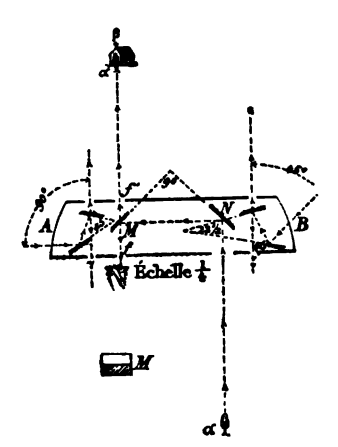
Équerre à miroirs.

Elle se compose d'une boîte parallélipipédique dont les faces biseautées A et B sont ouvertes; sur une des bases de la boîte sont fixés, normalement à la surface de cette base, trois couples de miroirs faisant entre eux $22\frac{1}{2}$, 45 et 90 degrés (voyez la figure).

Le couple à $22\frac{1}{2}$ sert à former des angles de 45°.
Id. 45 id. id. 90°.
Id. 90 sert à tracer des alignements.

Marche des rayons lumineux pour le couple à 90° : le miroir N est entièrement étamé, il reçoit un rayon lumineux partant d'un objet α derrière l'observateur, le réfléchit sur le miroir M qui l'envoie dans l'œil de l'opérateur par une fenêtre f.

Le miroir M n'a que la moitié de la hauteur de l'instrument, de sorte que l'observateur voit directement un objet β, devant lui dans la campagne, en regardant au-dessus du miroir par une fenêtre f', et l'objet α devant lui aussi par double réflexion dans le miroir.



Lorsque α et β se superposent, c'est que l'observateur se trouve sur l'alignement $\alpha\beta$, l'écartement des miroirs n'étant que de 4 centimètres environ.

Les rayons lumineux se comportent d'une façon analogue pour les couples de miroirs à 45 et à $22\frac{1}{2}$ degrés.

Vérifications. — Couple à 90 degrés. On détermine au moyen de jalons, un point intermédiaire de l'alignement $\alpha\beta$, (α et β étant deux objets très éloignés l'un de l'autre); on se place en station au-dessus du point intermédiaire et l'on vérifie si α et β se superposent. Une vis permet de rectifier l'instrument.

On vérifie les angles donnés par les couples de miroirs à 45 degrés et à $22\frac{1}{2}$ degrés, comme on l'a fait pour les angles de l'équerre d'arpenteur.

Avantages de l'équerre à miroirs. — Les opérations sont plus rapides qu'avec l'équerre d'arpenteur, l'instrument se tenant à la main.

La précision n'est guère plus grande à cause de la difficulté de placer toute l'opération dans un plan normal aux surfaces des miroirs; puis, pour l'arpentage, l'équerre a le défaut de ne pas donner le pied de la perpendiculaire sur le sol. (On pourrait la fixer sur la tête d'un jalon.)

Ce n'est pas un instrument de topographie, ni même un instrument d'arpentage; on s'en servit beaucoup jadis pour aligner sur le terrain de grandes unités tactiques (*Application du principe dans les télémètres*, ROKSANDIE, LABBEZ et GAUTHIER, 5e Partie.)

Équerre à prismes.

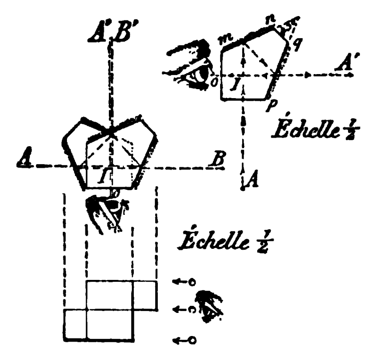
L'équerre à prismes est de l'invention du colonel Goulier.

L'équerre à prismes remplace fort avantageusement l'équerre à miroirs; elle n'exige pas, comme celle-ci, des rectifications; n'est pas sujette à se déranger, attendu que les angles des prismes sont invariables, vu qu'ils sont taillés dans des blocs de verre.

L'instrument se compose d'une boîte cylindrique en cuivre dans laquelle sont fixés deux prismes en verre poli superposés l'un à l'autre. Chacun de ces prismes, de section pentagonale, présente un angle droit et un angle de 45°, dont le sommet a été tronqué par un plan qui forme la cinquième face du prisme.

Les deux faces *mn* et *pq* à 45° sont étamées — forment couple de miroirs.

Un rayon lumineux partant d'un point A et entrant sous un angle convenable dans le prisme subit sur *mn* une première réflexion, puis une seconde sur la face *pq*, et sort enfin dans une direction perpendiculaire à la direction incidente.



Le prisme fonctionne simplement comme un couple de miroirs à 45°; l'œil, placé en *o*, verra l'image doublement réfléchie A' d'un point A, situé à la droite de l'observateur, dans une direction *o*A' telle que l'angle A'IA sera droit.

Il en est de même pour le prisme superposé en ce qui concerne les objets situés à gauche de l'observateur.

L'enveloppe de l'instrument porte une plaque percée de trois œilletons qui correspondent, le premier à la base supérieure du prisme supérieur, le second à la base commune aux deux prismes et le troisième à la base inférieure du prisme inférieur.

Pour trouver un point sur l'alignement de deux autres A et B, on place les épaules dans la direction AB, et, regardant à la fois dans les deux prismes par l'œilleton du milieu, on voit devant soi les images doublement réfléchies A' et B' des points A et B (A par le prisme supérieur, B par le prisme inférieur). On se déplace alors en avant ou en arrière jusqu'à ce que les deux images soient vues absolument dans la même direction — se superposent.

Si l'on veut une perpendiculaire à une droite AB en un point I, on se place *en station* en ce dernier point et l'on se sert du prisme supérieur seulement : les épaules *étant dans l'alignement* AB, l'épaule gauche vers A, on place l'œil droit à l'œilleton supérieur; on voit A par double réflexion devant soi sur une perpendiculaire à AB, tandis que l'on voit directement dans la campagne *au-dessus* du prisme; on fait planter un jalon, par un aide, dans le prolongement de l'image du signal A.

On vérifie l'équerre à prisme comme l'équerre à miroirs et

l'équerre d'arpenteur : si elle n'est pas exacte, c'est que les prismes sont mal taillés ou mal superposés : il faut la renvoyer au constructeur.

C'est un bon instrument en terrain horizontal ou peu incliné, moins facile en terrain accidenté, comme l'équerre à miroirs, mais auquel on s'habitue bien vite.

Des auteurs disent qu'il y a une perte de lumière dans la traversée des prismes : ce reproche nous paraît peu fondé quand le verre est bon et l'argenture soignée.

L'équerre à prismes est préférable à l'équerre à miroirs parce qu'elle ne peut se déranger : ses angles sont ***immuables***, les faces étant taillées dans un bloc de verre; l'instrument est ***indéréglable***.

L'équerre à miroirs et l'équerre à prismes ne sont plus employées aujourd'hui, nous les avons données pour faire connaître deux types d'instruments fort simples, basés sur les propriétés des miroirs et des prismes, un grand nombre de télémètres dérivant de l'application des mêmes principes (5e Partie).

Prisme équerre à réflexion totale. — Petit prisme de verre ordinaire dont les angles dièdres sont respectivement :

$$a = 135^\circ$$
$$c = 90^\circ$$
$$b \text{ et } d = 67^\circ 30'.$$

Un rayon lumineux venant de *i*, et pénétrant dans le prisme normalement à *bc*, se réfléchit totalement sur *ab*, puis sur *ad*, et sort du prisme normalement à *dc*.

L'angle formé par le rayon incident *in* et ce rayon doublement réfléchi *no* est double de l'angle des faces réfléchissantes

$$2 \times 135^\circ = 270^\circ$$

dont le supplément est 90°.

Si le rayon *in* ne pénétrait pas tout à fait normalement dans

le prisme, il y aurait une réfraction à l'entrée, mais cette réfraction serait égale et en sens inverse à la sortie.

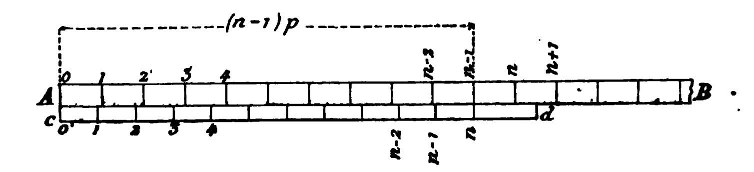
Les faces *ab* et *ad* ne sont pas étamées, c'est là un avantage.

Théorie du vernier.

L'ingénieux appareil qu'on appelle *vernier* fut inventé par *Pierre Vernier,* mathématicien français, mort en 1637.

On en trouve la description dans un ouvrage imprimé pour la première fois à Bruxelles en 1631.

Le vernier a pour objet d'apprécier les fractions de divisions tracées sur une règle ou sur un limbe.



Soit une règle AB dont chacune des divisions a une longueur p.

Prenons une longueur égale à $(n-1)$ divisions de AB ou $(n-1)p$; portons cette longueur sur une autre règle *cd*, glissant le long de la première et destinée à devenir le vernier.

$$\text{Soit donc } cn = (n-1)p.$$

Divisons *cn* en n parties égales et numérotons-les, comme sur la règle AB, à partir de l'origine à gauche.

La longueur totale du vernier $= cn = (n-1)p$,

Il y a n divisions,

Une division du vernier a donc une longueur $\frac{(n-1)p}{n} = p - \frac{p}{n}$.

C'est-à-dire qu'une division du vernier est plus petite qu'une division de la règle AB d'une quantité $\frac{p}{n}$.

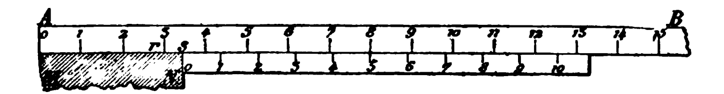
Cette quantité $\frac{p}{n}$ est ce qu'on appelle l'*approximation* donnée par le vernier.

Le vernier est construit, voyons l'usage que l'on fait de cet appareil :

Soit à mesurer la longueur d'un objet MN.

Nous voyons immédiatement que l'objet a une longueur égale à 3 divisions de la règle AB + une fraction de division *rs* que le vernier va nous permettre d'apprécier.

Amenons l'extrémité du vernier en contact avec l'objet et remarquons que la division 8 de la règle est en coïncidence



parfaite avec la division 5 du vernier; remarquons aussi que si nous marchons vers la gauche le trait de division 4 du vernier n'est plus dans le prolongement du trait 7 de la règle, mais est en arrière d'une fraction de division de la règle $= p - \left(p - \frac{p}{n}\right) = \frac{p}{n}$, *approximation du vernier*.

En effet, une division de la règle $= p$ et une division du vernier $= p - \frac{p}{n}$.

La division 3 du vernier reste en arrière de la division 6 de la règle de $2\frac{p}{n}$, ... et enfin la division 0 du vernier reste en arrière de la division 3 de la règle de $rs = 5\frac{p}{n}$.

Et l'objet MN a une longueur de $3p + 5\frac{p}{n}$.

Pratique. — Lire le chiffre de la division de la règle donnant le plus grand nombre entier de divisions p contenues dans la longueur de l'objet; lire la division du vernier en coïncidence avec une des divisions de la règle; multiplier l'approximation $\frac{p}{n}$ du vernier par le chiffre de la division en coïncidence et ajouter ce produit à la lecture faite sur la règle.

Pour *déterminer l'approximation* $\frac{p}{n}$ d'un vernier, on divise p, la plus petite division de la règle, par n, le nombre de divisions du vernier.

Exemple concret. — La règle est divisée en millimètres, $p = 1^{mm}$. Le vernier porte 10 divisions, $n = 10$.

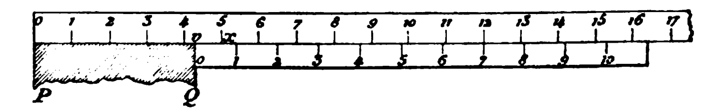
$$\frac{p}{n} = \frac{1^{mm}}{10} = 0^{mm},1 \text{ est l'approximation du vernier.}$$

La longueur de l'objet $MN = 3p + 5\frac{p}{n} = 3^{mm} + 5 \times \frac{1^{mm}}{10} = 3^{mm},5.$

Le vernier que nous venons de construire est dit *vernier additif* parce que dans l'estimation de la mesure on procède par addition.

On construit aussi des *verniers soustractifs*, mais leur usage est moins répandu, l'addition mentale étant pratiquement plus facile que la soustraction.

La théorie du vernier soustractif est analogue à celle du vernier additif. Pour construire le vernier soustractif, on prend



$(n + 1)$ divisions de la règle (au lieu de $n - 1$) et on les divise en n parties égales.

Une division du vernier est donc *plus grande* qu'une division de la règle d'une quantité.

$$\frac{(n+1)p}{n} - p = \frac{pn + p - pn}{n} = \frac{p}{n} \text{ (approximation du vernier).}$$

Apprécions la longueur d'un objet PQ à l'aide d'un vernier soustractif.

La longueur $PQ = 5p - vx$; que vaut vx?

Les divisions 7 et 12 sont en coïncidence : si nous marchons vers la gauche, nous voyons que 6 du vernier prend une avance de $\frac{p}{n}$ sur 11 de la règle, que les autres divisions du vernier

prennent, respectivement, une avance de $\frac{2p}{n}$, $\frac{3p}{n}$, ..., $\frac{6p}{n}$, $\frac{7p}{n}$ sur les divisions de la règle.

vx est donc égal à $\frac{7p}{n}$

d'où

$$PQ = 5p - \frac{7p}{n}.$$

Pratique. — Si l'on a un vernier soustractif, lire sur la règle la division immédiatement ***au delà*** du zéro du vernier; multiplier $\frac{p}{n}$, l'approximation du vernier, par le chiffre de la division du vernier en coïncidence avec une division de la règle, et ***soustraire*** ce produit de la lecture faite sur la règle.

Exemple. — La règle est divisée en millimètres, le vernier porte 10 divisions.

$$\frac{p}{n} = \frac{1^{\text{mm}}}{10} = 0^{\text{mm}},1.$$

Lecture : $5^{\text{mm}} - 0^{\text{mm}},7 = 4^{\text{mm}},3.$

REMARQUE. — *On voit que* $\frac{p}{n}$ *est l'approximation du vernier, qu'il soit additif ou qu'il soit soustractif.*

Il va de soi que si le vernier est adapté à un limbe, au lieu d'être adapté à une règle, la théorie est identique.

Un vernier additif peut devenir une espèce de vernier soustractif par défaut de construction, ou bien encore être tantôt additif et tantôt soustractif.

Un exemple fera immédiatement saisir ces deux cas.

Supposons un éclimètre dont le limbe est gradué dans le sens des pentes ascendantes et dans le sens des pentes descendantes à partir d'un zéro donnant l'horizontale.

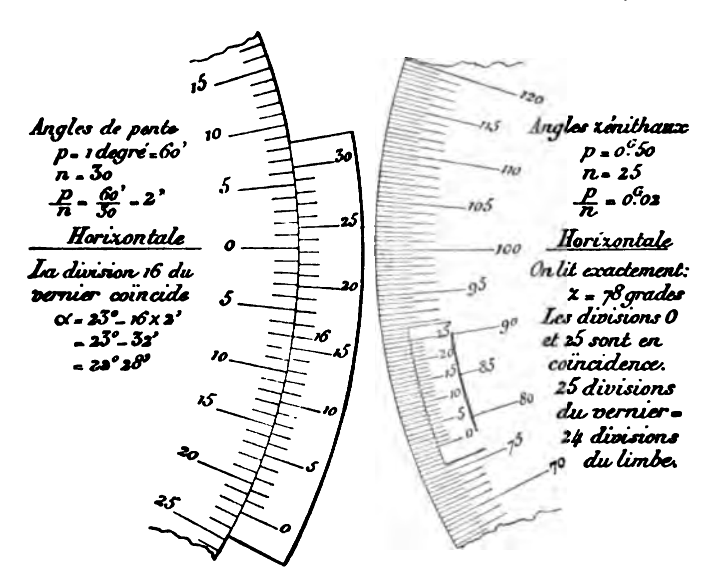
(Les graduations sont donc chiffrées en montant à partir du zéro, et en descendant à partir du même zéro.)

On a construit un vernier additif, c'est-à-dire tel qu'une division du vernier est égale à $p - \frac{p}{n}$.



Mais, le vernier n'est gradué que dans un sens, de bas en haut, et le limbe est gradué dans deux sens.

Si l'angle que l'on veut lire est au-dessus de l'horizon, les divisions du limbe et du vernier courant dans le même sens, le vernier fonctionne comme nous l'avons vu, il est *additif*.



Mais si, au contraire, l'angle est sous l'horizon, ce n'est plus la même chose :

Supposons que la division zéro du vernier est arrêtée entre les divisions 22 et 23 sous l'horizon et que la division du vernier en coïncidence avec une division du limbe est la division 16.

La fraction de division du limbe que ce vernier *additif* permet d'apprécier est la fraction comprise entre le zéro du vernier et le trait 23 du limbe.

Cette fraction de division est égale à $\frac{16p}{n}$.

Nous lirons donc $23 - 16\frac{p}{n}$.

Et c'est ainsi, qu'avec un vernier additif, nous sommes amenés

à faire une soustraction, que le vernier devient *incidemment soustractif*.

Aux instruments donnant les *angles de pente*, on adapte généralement un double vernier, gradué dans les deux sens à partir du zéro comme le limbe.

Les éclimètres des anciennes boussoles nivelantes de l'École militaire, par suite d'un inconcevable défaut de construction, ont des verniers additifs dont les graduations courent en sens inverse de celles du limbe : ces verniers doivent donc être utilisés comme des verniers soustractifs de l'espèce que nous venons d'examiner.

Les élèves s'exerceront à lire les angles à l'aide des verniers de tous les instruments décrits pendant les leçons.

Règle pratique. — Avant de se servir d'un vernier :

1° Calculer l'approximation $\frac{p}{n}$; p étant la plus petite division du limbe, n le nombre de divisions du vernier.

2° Examiner si le vernier est additif ou s'il est soustractif, c'est-à-dire si les divisions du vernier sont plus petites ou sont plus grandes que celles du limbe.

3° Observer si les divisions du limbe et celles du vernier sont ou non numérotées dans le même sens.

Théodolite topographique.

Le théodolite (cercle répétiteur, cercle réitérateur) est l'instrument par excellence pour mesurer les angles avec une grande précision.

Note. — Pour les éclimètres de l'École militaire (en général) :.

$$p = \frac{1}{4} \text{ grade} = 0{,}25.$$

$$n = 25.$$

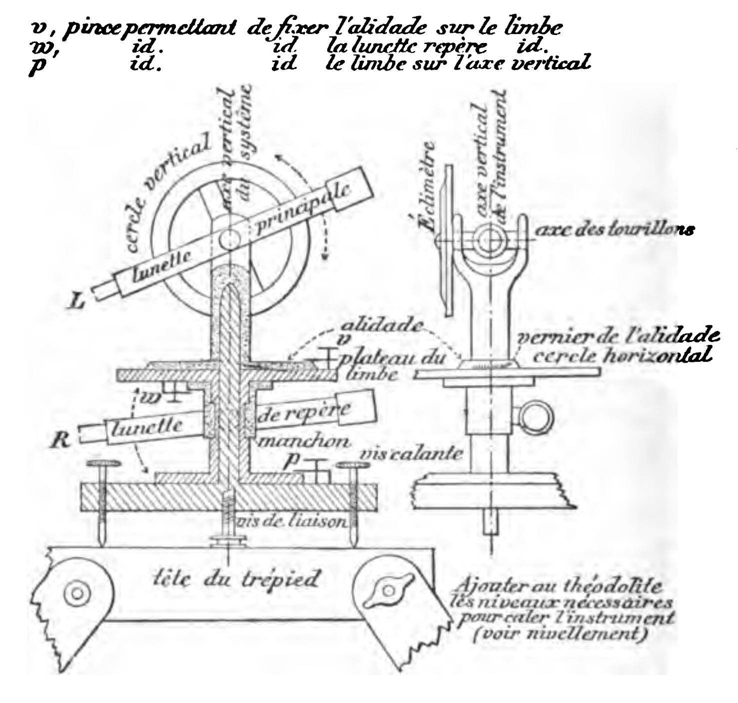
$$\frac{p}{n} = \frac{0{,}25}{25} = 0{,}01 \text{ ou une minute centésimale.}$$

Les verniers sont additifs, c'est-à-dire que les divisions du limbe sont plus grandes que celles du vernier. Dans les anciennes boussoles, les verniers deviennent soustractifs parce que le limbe et le vernier sont gradués en sens inverse.



Cet instrument appartient plutôt à la Géodésie qu'à la Topographie. Le topographe ne l'emploie que dans les opérations de levés spéciaux qui exigent une exactitude exceptionnelle, par exemple lorsque l'étendue du terrain à lever est considérable ou que la position relative de certains points importants doit être rigoureusement établie : tels sont les levés de forteresses, de camps retranchés, etc.

On procède alors d'une façon analogue à celle que nous avons vu employer pour la construction des cartes, on établit d'abord un *canevas trigonométrique*, une *triangulation calculée*, dont une base mesurée à la règle et des mesures d'angles faites au théodolite fournissent les données.



Remarque. — Si, dans un levé de forteresse ou de camp retranché, on possédait des points géodésiques, déterminés lors de la construction de la

carte du pays, on se dispenserait naturellement de mesurer une base; on s'appuierait sur les points de 1er, de 2e ou de 3e ordre de la géodésie pour déterminer au théodolite tous les points de 4e ordre dont on pourrait avoir besoin pour établir une triangulation convenable.

Dans les opérations d'un levé topographique ordinaire, qui n'ont pour but que de fournir des longueurs et des angles au *dessinateur*, on perdrait son temps si l'on employait un théodolite : la boussole-éclimètre-stadia, les tachéomètres, la planchette, etc., infiniment plus rapides, satisfont à toutes les exigences de ce genre de travail.

Le théodolite nous permettra de donner, d'une façon à peu près générale, les conditions auxquelles doivent satisfaire les goniomètres en topographie, les vérifications auxquelles ils se prêtent, leur théorie, leur mode d'emploi, et nous dispensera de nous étendre sur ce sujet lorsque nous décrirons d'autres instruments de la même famille.

Nous ne parlerons du théodolite que comme *instrument de topographie*, et renvoyons au cours de Géodésie pour plus de détails.

Éléments essentiels d'un théodolite.

Un théodolite se compose d'un axe vertical, *axe du système*, porté par trois *vis calantes*; cet axe supporte un limbe gradué dont le plan doit, par construction, lui être perpendiculaire. Le plan du limbe est donc horizontal quand, par le jeu des vis calantes et les indications d'un niveau à bulle d'air, on a rendu l'axe du système vertical.

Une *alidade*, tournant autour de l'axe vertical, est munie de deux verniers aux extrémités d'un même diamètre; les verniers parcourent la circonférence du limbe gradué. L'alidade entraîne dans ses mouvements de rotation une lunette L, mobile elle-même autour d'un axe perpendiculaire à l'axe du système. L'axe optique de la lunette L se meut dans un plan perpendiculaire à son axe de rotation : dans un plan vertical, par conséquent, *lorsque l'axe du système est vertical.*

Un limbe ou *cercle vertical*, que parcourt une alidade dont les



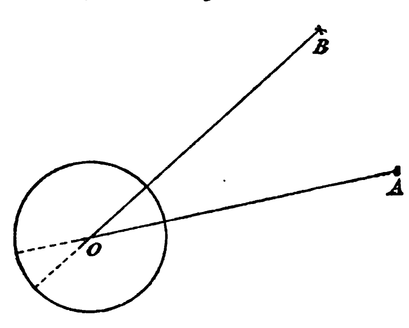
mouvements sont liés aux mouvements de la lunette principale, permet de mesurer les angles que fait la ligne de visée avec un plan horizontal — constitue donc un éclimètre.

Une lunette R, fixée sous le limbe, mobile si on le désire autour de l'axe du système, complète l'instrument.

La figure que nous donnons ne représente pas un type de théodolite du commerce, c'est un schéma, *un assemblage* des éléments principaux d'un instrument de l'espèce qui nous paraît convenir pour faciliter l'étude de ce goniomètre.

Principe de la mesure. — Il s'agit de mesurer un angle AOB.

Nous nous plaçons en *station* [1] dans la verticale du sommet O; nous dirigeons la lunette supérieure sur A, l'axe optique de cette lunette se trouve alors dans le plan vertical passant par la ligne OA du terrain; nous amenons ensuite la lunette, en la faisant tourner autour de l'axe du système, sur le point B, son axe optique sera dès lors dans le plan vertical passant par OB.



L'alidade, faisant corps avec la lunette, a été entraînée dans le mouvement de rotation et son zéro s'est déplacé sur la circonférence du limbe, resté immobile pendant l'opération : or, le plan du limbe étant *horizontal*, l'arc *ab* [2] parcouru par le zéro de l'alidade mesure donc précisément l'angle dièdre des plans verticaux passant par OA et OB.

L'arc *ab*, parcouru sur le limbe par le zéro de l'alidade, mesure l'angle AOB du terrain *réduit à l'horizon*.

Lunette-repère. — Cela suppose toutefois une condition indispensable, c'est que, en passant d'une position à l'autre, l'alidade n'aît pas *entraîné le limbe avec elle.* Pour constater le

---

[1] Voir *mise en station* et *mesure d'un angle* quelques lignes plus loin.

[2] Ajoutez *a* et *b* sur le cercle à l'intersection des côtés OA et OB.



déplacement du limbe qui aurait pu se produire, le théodolite est muni d'une seconde lunette appelée *lunette de repère*, placée sous le limbe, auquel elle peut être intimement liée ou prendre à volonté un mouvement indépendant : on note le signal sur lequel la lunette de repère est *pointée* quand on observe A, et l'on s'assure de ce qu'elle est encore dirigée sur le même signal ou *repère* avant de lire l'observation faite sur B, comme nous l'expliquerons bientôt.

REMARQUES. — Nous ne pouvons donner ici la description du théodolite dont on s'est servi dans les opérations de la triangulation du Royaume, mais cet instrument est décrit sommairement à la leçon et reste ensuite à la disposition des élèves.

Le seul théodolite *topographique* que possède le musée de l'École militaire est un spécimen peu recommandable. La lunette supérieure de ce théodolite porte un niveau à bulle d'air qui permet de rendre son axe optique horizontal; cette lunette entraîne dans son mouvement plongeant une alidade munie d'un vernier qui parcourt les divisions d'un limbe vertical incomplet; enfin, la lunette supérieure possède un réticule formé de quatre fils d'araignée disposés de la même façon que ceux de la lunette, page 56 : cet instrument est donc un goniomètre principalement, mais peut servir de stadia, de niveau à lunette et d'éclimètre.

Mise en station du théodolite (d'un goniomètre). — 1° On place le centre de l'instrument dans la verticale du point d'observation.

2° On rend l'axe du système vertical, ou, ce qui revient au même, le plan du limbe horizontal au moyen du niveau à bulle d'air et des vis calantes.

Cela s'appelle *caler l'instrument.*

3° On mesure les angles.

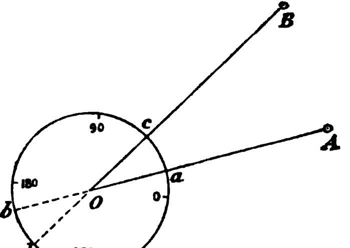
Mesure d'un angle au moyen du théodolite. — La lunette de repère peut être, ou indépendante *à volonté* du limbe, ou invariablement fixée au limbe.

1° Supposons que le théodolite est pourvu d'une lunette de repère indépendante.

Nous plaçons le centre de l'instrument dans la verticale du point O, sommet de l'angle AOB à mesurer; nous calons l'instrument; pointons les *deux lunettes* sur le signal A; serrons la pince qui fixe la lunette de repère au limbe et la pince qui

enraye tout mouvement de rotation du limbe autour de l'axe vertical du système.

Nous lisons alors les graduations *a* et *b* aux zéros des deux verniers opposés de l'alidade.



Cela fait, nous pointons la lunette supérieure, *entraînant l'alidade*, sur le signal B; et, *après nous être assuré* de ce que la lunette-repère est toujours dirigée sur le signal A, nous lisons les graduations *c* et *d* aux verniers.

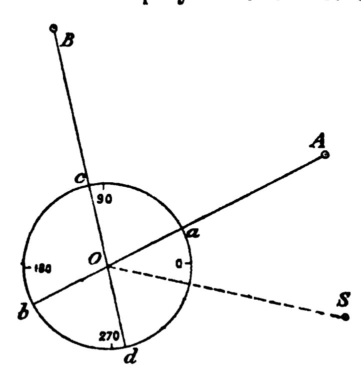
Le limbe n'ayant pas suivi le mouvement de la lunette supérieure et de l'alidade pendant le second pointage,

$$\text{L'angle AOB} = \frac{\text{arc}\, ac + \text{arc}\, db}{2} = \frac{(c - a) + (d - b)}{2}.$$

Remarque. — Il n'est pas nécessaire de partir de la graduation 0; mais il convient de partir d'une division voisine, comprise entre 0 et 90.

2° Supposons au théodolite une lunette repère dépendante du limbe, soudée, rivée au limbe.

Nous employons une méthode analogue : après avoir mis l'instrument en station, nous pointons la lunette de repère sur un signal quelconque S, nettement visible à l'horizon; nous serrons la pince qui rend le limbe immobile sur l'axe vertical du système; pointons la lunette supérieure sur A, et, après nous être assuré de ce que la lunette repère est toujours dirigée *sur le signal* S, nous lisons *a* et *b*.



Nous pointons ensuite la lunette supérieure sur le signal B,

nous nous assurons de ce que la lunette de repère est toujours dirigée sur le signal S et nous lisons *c* et *d*

$$\text{AOB} = \frac{\text{arc}\,ac + \text{arc}\,bd}{2} = \frac{(c - a) + (d - b)}{2}.$$

REMARQUE. — Rien n'empêche qu'on remplace S par A.

Souvent l'axe optique de la lunette-repère est, par construction, dans le plan vertical passant par le diamètre 0-180 ou, plus exactement, dans un plan parallèle à ce plan vertical : c'est inutile.

Conditions de construction, vérifications, corrections. — 1° Le plan du limbe doit être perpendiculaire à l'axe vertical de tout le système.

Le niveau à bulle d'air étant réglé (voir les *Niveaux*), on rend le limbe horizontal au moyen de ce niveau et des vis calantes, puis on fait faire au limbe une rotation complète autour de l'axe du système : la bulle doit rester entre ses repères.

Si le niveau à bulle d'air est fixé sur l'axe du système, ne dépend donc pas directement du limbe, on rend l'axe du système vertical, puis, au moyen d'un *niveau à patin indépendant* réglé, on vérifie si le limbe est horizontal.

Cette vérification demande du tact, de l'habileté et de l'habitude. Si la condition n'est pas remplie, rendre l'instrument au constructeur.

2° Le limbe doit être bien divisé.

Les limbes des instruments de topographie modernes sont généralement bien divisés : l'art de construire est arrivé à un haut degré de perfection. Les erreurs seront donc généralement très faibles du chef des graduations.

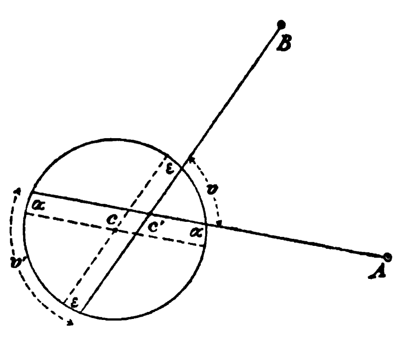
On constaterait des défauts dans les graduations en déterminant des angles par somme et par différence : c'est une opération longue et délicate; de plus, les erreurs découvertes pourraient provenir d'un défaut de centrage ou d'une position défectueuse de l'axe optique (voir 3° et 4°).

Les méthodes de la répétition et de la réitération atténuent plus ou moins les erreurs qui pourraient provenir de défauts dans la division du limbe : nous donnons sommairement ces méthodes page 110.

Si l'on constatait des erreurs dues aux graduations, on rejetterait le théodolite qui doit remplir les conditions d'un ***instrument de grande précision***.

3° Le théodolite doit être bien centré.

On s'en assure en faisant des lectures aux deux verniers : la différence des angles lus doit toujours être de 180 degrés ou 200 grades.



Si cette condition n'est pas rigoureusement remplie, c'est que l'alidade, ou plus exactement la ligne qui joint les zéros des verniers de l'alidade, ne tourne pas exactement autour du point mathématique qui a servi de centre à la division du limbe.

Il en résultera que l'arc v ou l'arc v', parcouru par l'un des zéros de l'alidade sur le limbe, ne mesurera pas l'angle que forment entre elles les deux directions c'A et c'B prises par cette alidade.

$$Ac'B = v + (\varepsilon + \alpha) = v' - (\varepsilon + \alpha).$$

Non seulement l'erreur que l'on commettra en prenant v ou v' sera respectivement positive ou négative, mais cette erreur variera suivant les positions que prendra l'alidade sur le limbe [1].

Cependant ce défaut de construction n'empêche pas qu'on puisse mesurer exactement un angle : il suffira, pour éliminer l'erreur de centrage, de prendre, à chaque mesure d'angle, la demi-somme des ***deux arcs*** parcourus par les deux zéros opposés de l'alidade.

---

[1] Si la ligne des zéros passe, dans la position initiale de l'alidade, par le centre c du limbe (figure page 109), l'erreur ε sera nulle à o, ira en grandissant jusque 90, où elle sera maxima, puis diminuera progressivement pour être nulle à 180.

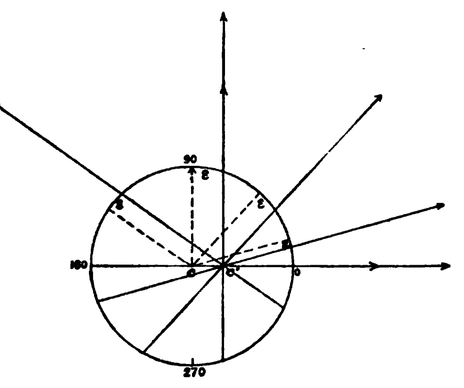
Si la position initiale de la même ligne est quelconque, ε variera pour chaque cas particulier.

En effet :

$$Ac'B = \frac{v + (\varepsilon + \alpha) + v' - (\varepsilon + \alpha)}{2} = \frac{v + v'}{2}.$$

C'est ainsi que l'on procède toujours.

4° L'axe optique de la lunette supérieure, dans son mouvement plongeant, *doit engendrer un plan vertical lorsque l'instrument est calé.*



Il est nécessaire pour cela que l'axe des tourillons soit horizontal lorsque l'instrument est calé et que l'axe optique de la lunette soit perpendiculaire à l'axe des tourillons.

Vérifications. — On cale l'instrument avec le plus grand soin. On s'assure de ce que l'axe des tourillons est horizontal en posant un niveau à jambes sur les tourillons. — Voir *Niveaux*.

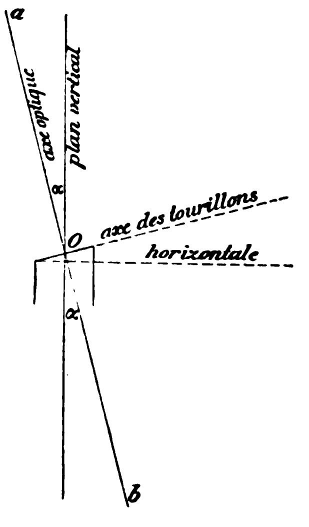
Si l'axe des tourillons de la lunette n'était pas horizontal, il faudrait refuser l'instrument, car les erreurs qui résulteraient de ce défaut de construction varieraient avec l'inclinaison de l'axe optique sur l'horizon [1].

En effet (figure page 110), si nous supposons la partie *oa* de l'axe optique faisant un demi-tour complet, en sorte que *a* vienne en *b*, nous constatons que l'angle α va diminuant jusqu'à zéro, puis augmentant en sens inverse jusque α. Les erreurs dont les mesures d'angles seront affectées dépendront donc de la hauteur au-dessus ou au-dessous de l'horizon du signal observé.

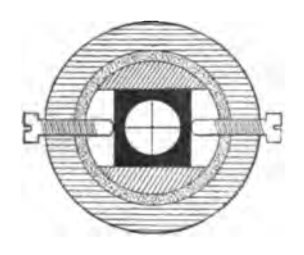
---

[1] Il est toujours possible, si l'on ne tient aucun compte des autres parties du théodolite, de rendre l'axe des tourillons horizontal au moyen d'un niveau à jambes et des vis calantes, mais il faut que cet axe soit horizontal quand l'*instrument est calé* à l'aide de la fiole qui règle *tout le système*.

Pour vérifier si l'axe optique est perpendiculaire à l'axe des tourillons de la lunette, on vise un long fil à plomb, tendu par un poids de 5 à 10 kilogrammes et plongeant dans un liquide pour supprimer les oscillations et les déviations que produit le vent; on imprime à la lunette un mouvement plongeant : la croisée des fils du réticule doit bissecter *exactement* le fil à plomb pendant tout le mouvement.



On rectifie en déplaçant la croisée des fils du réticule, à droite ou à gauche, au moyen des vis qui permettent de faire mouvoir le châssis du réticule.



Méthodes de la répétition et de la réitération. — Les erreurs qui proviennent de défauts dans la division du limbe et les erreurs qui sont dues à l'observateur lui-même, qui ne lit pas toujours correctement et dont le *pointage* n'est pas toujours mathématiquement effectué, ne sont pas éliminées par la méthode que nous avons donnée pour mesurer les angles au théodolite.

Pour *atténuer* plus ou moins ces erreurs, on emploie certaines méthodes plus compliquées, telles que la répétition et la réitération.

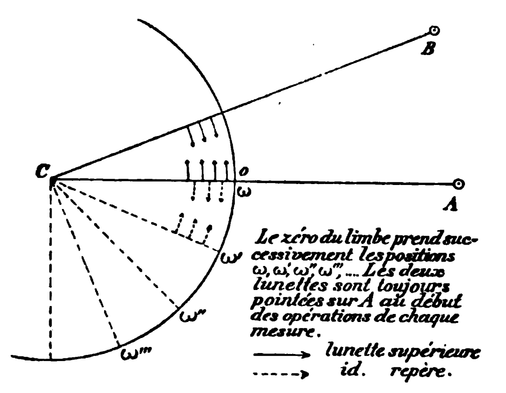
D'une façon générale, le procédé consiste à faire un nombre plus ou moins grand de mesures du même angle, en partant de divisions initiales différentes du limbe, et à prendre la moyenne des mesures obtenues.

Méthode de la répétition. — Il s'agit de mesurer l'angle BCA.

On pointe les *deux* lunettes sur A, l'alidade se trouvant sur un diamètre quelconque, supposons le diamètre 0-180 du limbe

et le 0 du limbe du côté des objectifs des lunettes pour fixer les idées. — Il n'est pas nécessaire du tout de partir du 0.

On lit donc 0 et 180 aux deux verniers.



On immobilise le limbe et la lunette-repère sur l'axe du système en serrant les pinces convenables (*w* et *p*, figure page 102); on pointe la lunette supérieure sur B; on lit aux deux verniers. L'angle BCA est une première fois mesuré par la méthode générale donnée plus haut.

Voici comment se fait la répétition :

On serre la pince *v* qui fixe le limbe à l'alidade, on ouvre la pince *p* qui fixe le limbe à l'axe vertical du système, on ramène l'axe optique de la lunette supérieure sur le signal A.

Pendant ce mouvement, le limbe et la lunette-repère, qui fait corps avec lui, ont été entraînés vers la droite d'un angle égal à BCA, le 0 du limbe est venu en ω'.

On serre alors la pince *p* qui fixe le limbe à l'axe du système, on ouvre la pince *w* qui fixait la lunette repère au limbe et l'on ramène l'axe optique de celle-ci sur le signal A.

Les deux lunettes sont en ce moment pointées sur A et le zéro du limbe qui était primitivement en ω est en ω'.

On mesure une seconde fois l'angle BCA, et ainsi de suite.

Le zéro du limbe occupe successivement les positions ω, ω', ω'', ω''', etc.

On prend la moyenne des mesures obtenues pour l'angle BCA.

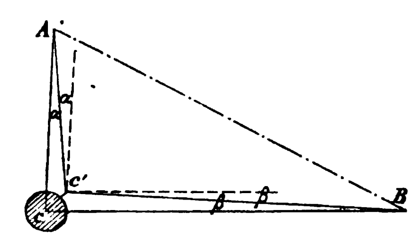
Méthode de la réitération. — On fait une série de mesures de l'angle ACB, indépendantes l'une de l'autre, en partant de points du limbe également répartis sur la moitié de la circonférence.

Par exemple, si l'on veut six réitérations, on part de 0, 30, 60, 90, 120 et 150 degrés.

Pendant que le vernier principal parcourt la première moitié de la circonférence, le vernier opposé parcourt l'autre moitié.

On prend pour l'angle définitif la moyenne des six angles observés.

Erreur due à la mise en station des goniomètres. — Plus les côtés de l'angle à mesurer seront grands, moins une erreur dans la mise en station aura d'influence sur la mesure de l'angle.



Supposons qu'on veuille mesurer AcB et qu'au lieu de placer le centre de l'instrument dans la verticale de c, on le place dans la verticale de c'.

L'erreur sera $\varepsilon = \text{A}c'\text{B} - \text{A}c\text{B} = \alpha + \beta.$

Le triangle Acc' donne

$$\frac{\sin\alpha}{\sin \text{A}c'c} = \frac{cc'}{\text{A}c}.$$

$$\sin\alpha = \frac{cc' \sin \text{A}c'c}{\text{A}c}.$$

Expression qui montre que plus Ac est grand plus α est petit, pour une même erreur cc'. Même démonstration pour β.

Réduction au centre de la station. — Si pour faire une observation on devait se placer en station à côté du sommet de l'angle qui peut être inaccessible (l'angle d'une construction, un paratonnerre, le centre de figure d'un clocher, etc.), on calculerait l'angle AcB à l'aide de l'angle Ac'B, déterminé d'un point voisin, des angles A$c'c$ et B$c'c$ et de la distance cc' mesurée.

$$\sin\alpha = \frac{cc' \sin \text{A}c'c}{\text{A}c}.$$

$$\sin \beta = \frac{cc' \sin \mathrm{B}c'c}{\mathrm{B}c}.$$

$$\mathrm{A}c\mathrm{B} = \mathrm{A}c'\mathrm{B} - (\alpha + \beta).$$

Les côtés Ac et Bc doivent pouvoir être mesurés, ou calculés si le triangle AcB fait partie d'un canevas trigonométrique.

Pantomètre.

Le pantomètre ou goniasmomètre est formé de deux cylindres creux en cuivre, de même diamètre, superposés l'un à l'autre (diamètre de 8 à 12 centimètres).

L'instrument se place sur un trépied ou sur un simple jalon comme l'équerre d'arpenteur.

Le bord supérieur du cylindre inférieur est divisé en grades ou en degrés.



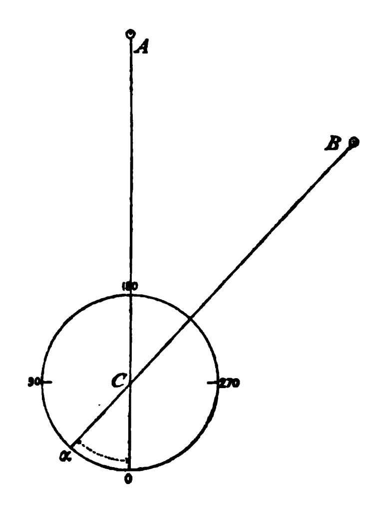
Le cylindre supérieur peut être mis en mouvement autour de son axe de figure, soit à la main, soit à l'aide d'une crémaillère fonctionnant par l'intermédiaire d'un bouton traversant la base du cylindre inférieur.

Pendant le mouvement de rotation du cylindre supérieur, une ligne de foi, ou le zéro d'un vernier tracé sur son bord inférieur, passe successivement devant les divisions du limbe du cylindre inférieur et permet d'apprécier de combien le premier cylindre a tourné par rapport au second resté immobile.

Dans le prolongement de la ligne de foi est pratiquée, dans le cylindre supérieur, une fente servant de visière, et diamétralement en face, une fenêtre divisée longitudinalement par un crin tendu. Suivant la génératrice du cylindre inférieur passant par le zéro du limbe est pratiquée une fente à laquelle correspond une fenêtre diamétralement opposée.

Mesure d'un angle ACB. — On fait tourner l'instrument sur sa douille jusqu'à ce que l'œil, placé à la fente du cylindre inférieur, du côté du zéro de la graduation du limbe, voie couvrir le

jalon A par le crin de la fenêtre opposée (nous supposons les graduations du limbe numérotées de droite à gauche) ; puis on fait tourner le cylindre supérieur jusqu'à ce qu'on aperçoive le jalon B à travers sa fente et qu'on le couvre ensuite par le crin de la fenêtre opposée ; on s'assure de ce que le jalon A est toujours couvert par le crin du cylindre inférieur, c'est-à-dire de ce que ce cylindre, qui fait l'office de la lunette de repère du théodolite, n'a pas bougé.



On lit l'angle à la division α du limbe en coïncidence avec la ligne de foi ou le zéro du vernier.

Vérifications. — 1° Lorsque le pantomètre est placé sur un jalon planté bien verticalement au moyen du fil à plomb, les fentes et les crins doivent déterminer des plans de visée verticaux.

On vise un fil à plomb (V. *Équerre d'arpenteur*, p. 85).

2° Le zéro du vernier étant en coïncidence avec le zéro du limbe, les plans de visée des deux cylindres doivent se confondre.

Si cette condition n'est pas remplie, tous les angles mesurés seront affectés d'une erreur, dite *erreur de collimation,* égale à l'angle formé par les deux plans de visée.

Pour déterminer l'erreur de collimation, on vise un fil à plomb par les plans de visée *des deux* cylindres, on lit au zéro du vernier.

L'erreur de collimation s'ajoute algébriquement (avec son signe) à tous les angles lus.

Exemple. — Si, lorsque les deux plans de visée passent par un même signal, on lit 20 minutes au vernier, tous les angles lus seront trop grands de 20 minutes, on retranchera donc 20 minutes de tous les *angles lus*.

3° Le limbe doit être bien gradué. Cette condition est d'habitude aujourd'hui suffisamment remplie. On vérifierait en mesurant

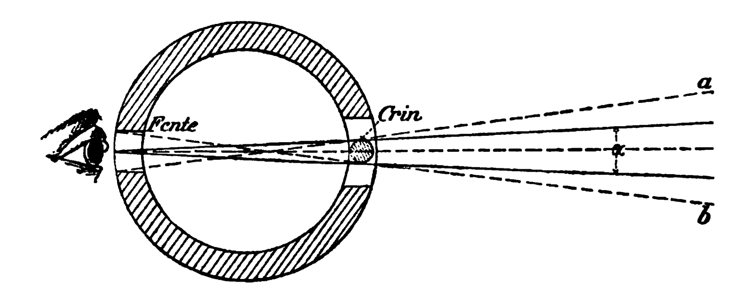
des angles par somme ou par différence, mais cette vérification ne pourrait donner lieu à aucune conclusion pratique, le pantomètre n'étant pas un instrument de précision, vu la façon grossière dont sont constitués ses plans de visée. Voyez la *remarque* ci-après.

4° L'instrument doit être bien centré, c'est-à-dire que l'axe de rotation du cylindre mobile doit passer par le centre des divisions du limbe.

On opère comme on l'a fait pour le théodolite, le cylindre mobile est pourvu, à cet effet, de deux verniers, ou tout au moins de deux lignes de foi, aux extrémités d'un même diamètre.

Remarque. — L'expérience prouve que si l'on fait planter un jalon à 50 ou 60 mètres dans un plan de visée déterminé par des pinnules et que l'on renouvelle cinq ou six fois l'opération, les trous pratiqués dans le sol par la pointe du jalon sont répartis sur une largeur *ab* mesurant plusieurs fois le diamètre du jalon.

Cela provient de l'épaisseur du crin et de la largeur de la fente : le crin cache toujours à l'œil un espace angulaire α dans



lequel le jalon peut occuper une place quelconque sans cesser d'être couvert, et de plus, l'œil peut se déplacer à droite et à gauche de l'arc de la fente de la moitié de la largeur de celle-ci, de sorte qu'en réalité un opérateur peut faire planter un jalon entre *a* et *b*.

On a tort d'adapter aux instruments à pinnules des verniers donnant la minute : faisons abstraction de la largeur de la fente et ne considérons que l'épaisseur *e* du crin, réduite à

0^m0001 seulement, supposons un pantomètre d'un diamètre $d = 0^m09$ et soit α l'angle que font entre eux les deux plans de visée que l'on peut adopter suivant que l'on vise tangentiellement à droite ou à gauche du crin.

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{e}{2d} = \frac{0,0001}{2 \times 0,09} = \frac{1}{1800} = \sin 1'55''$$

d'où

$$\alpha = 3'50''.$$

Un vernier donnant une approximation de cinq minutes suffit.

$$\frac{p}{n} = 5'. \text{ Si } p = 30', \text{ on aura } n = 6.$$

Les verniers plus longs sont des complications absolument inutiles, aussi fatigantes que désagréables pour l'opérateur.

Le pantomètre est un instrument facile à transporter, d'une installation rapide, pouvant donner les angles avec une approximation de dix minutes environ : il est peu employé en Belgique où on donne la préférence, justifiée au point de vue de l'exactitude, au graphomètre.

Généralement, le cylindre supérieur est percé de quatre pinnules donnant deux plans de visée perpendiculaires entre eux, le pantomètre peut ainsi servir d'équerre d'arpenteur.

Graphomètre.

Le graphomètre est un instrument déjà fort ancien, peu coûteux, solide, d'un maniement facile et dont se servent beaucoup de géomètres-arpenteurs.

Il se compose d'un limbe circulaire, ou demi-circulaire, muni de deux alidades, l'une faisant corps avec le limbe et dirigée suivant le diamètre 0-180 de celui-ci, l'autre mobile autour du centre du limbe.

Chacune des alidades est pourvue de deux pinnules qui déterminent un plan passant par le centre du limbe.

La manœuvre pour mesurer un angle est analogue à celle du pantomètre; seulement, il faut commencer par rendre le

plan du limbe horizontal, ce qui exige qu'il soit monté sur un genou articulé et que le limbe porte, tout au moins, un niveau sphérique.



Les conditions de construction et les vérifications sont identiques à celles du pantomètre.

Si le limbe est complet et que l'alidade porte deux verniers, on peut éliminer les erreurs dues à un défaut de centrage. (Voir *Théodolite.*)

L'erreur de collimation se détermine comme il a été dit à propos du pantomètre.

Cet instrument, quoique peu précis, comme tous les instruments à pinnules, est plus exact que le pantomètre à cause du diamètre beaucoup plus grand de son limbe (15 à 20 centimètres); mais il est moins portatif, moins rapide que le pantomètre, vu qu'il est plus volumineux et qu'il doit nécessairement être monté sur un trépied et non sur un simple piquet : on le trouve un peu partout en Belgique chez les géomètres-arpenteurs; on peut à l'occasion le mettre à profit.

Le graphomètre à pinnules est le précurseur du théodolite : il suffit de remplacer les alidades à pinnules par des lunettes pour avoir un théodolite.

Levé au graphomètre. — Voir ***Aperçu général des opérations d'un levé,*** page 15, et le ***Programme du levé à la boussole,*** à la fin de cette 2e Partie.

Sextant.

Le grand sextant n'est pas, à proprement parler, un instrument de topographie, il est surtout employé dans la marine, en

géodésie et en astronomie, pour faire des opérations rapides. (Voir les cours de Géodésie et d'Astronomie.)

Le sextant est basé sur la double réflexion des rayons lumineux, comme l'équerre à miroirs (page 90).

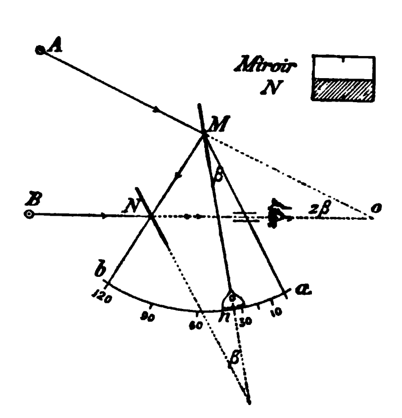
Il est formé d'un limbe gradué *ab* dont l'arc est égal au sixième de la circonférence (de là le nom de sextant). Sur un des rayons extrêmes du limbe est vissé un miroir N, qui n'est étamé que sur la moitié de sa hauteur, et qu'on appelle le ***petit miroir***. Un second miroir M, complètement étamé, et qu'on nomme ***grand miroir***, est fixé au centre du limbe, sur une alidade mobile autour de ce centre, et se meut par conséquent avec cette alidade qui est munie d'un vernier parcourant les divisions du limbe de l'instrument.

Une lunette ou un simple tube viseur, en face du petit miroir, facilite les observations.

Les deux miroirs sont perpendiculaires au plan du limbe et de plus ***sont parallèles lorsque le zéro du vernier coïncide avec le zéro du limbe***.

Les arcs parcourus par le zéro du vernier sur le limbe sont donc la mesure de l'angle formé par les plans des deux miroirs; mais le limbe est divisé en ***demi-degrés*** qui sont chiffrés comme des degrés entiers.

Cet artifice de graduation dispense de ***doubler*** l'angle lu pour obtenir un angle observé, comme nous allons le voir. Supposons que l'on veuille mesurer l'angle sous lequel on voit deux objets A et B :



On tient l'instrument de la main droite, on amène le plan du limbe dans le plan passant par son œil et contenant les objets A et B; on regarde directement l'objet B par la partie non étamée du miroir N; puis on fait mouvoir l'alidade qui porte le

miroir M jusqu'à ce que le rayon A M, réfléchi par le miroir M dans le miroir N, puis par le miroir N, arrive dans l'œil et que l'image de A coïncide avec l'objet B. On lit l'angle AoB au zéro du vernier.

$$AoB = 2\beta.$$

L'angle β des miroirs est égal à la moitié de AoB, mais le limbe est gradué en conséquence, soixante degrés sont divisés et numérotés comme si l'arc était de cent vingt degrés.

Vérifications. 1° Les deux miroirs doivent être perpendiculaires au plan du limbe.

2° Les deux miroirs doivent être parallèles lorsque l'alidade marque zéro.

3° L'instrument doit être bien centré.

1° Pour vérifier si le miroir M est perpendiculaire au plan du limbe, on se place devant ce miroir, lorsque l'alidade est à peu près au milieu du limbe; on voit directement la moitié du limbe et cette même moitié par réflexion : les deux moitiés doivent ne sembler faire qu'un même limbe; s'il se produit une fracture apparente à la jonction de l'arc réfléchi et de l'arc vu directement, on redresse le miroir à l'aide des vis qui le fixent à l'alidade.

Le miroir N est parallèle au miroir M si, en visant un jalon, ce jalon vu directement coïncide parfaitement avec son image doublement réfléchie.

On corrige au besoin la position du miroir N par les vis de support qui le font tourner autour d'un axe situé dans le plan du limbe.

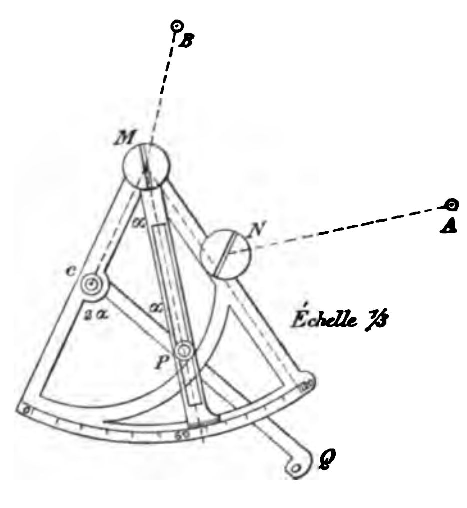
2° On place, avec le plus grand soin, le zéro du vernier en coïncidence avec le zéro du limbe, on vise un signal très éloigné : l'image réfléchie doit coïncider avec le signal vu directement par la partie non étamée du miroir N.

On rectifie en faisant tourner le petit miroir; ou bien on ne touche pas à l'instrument, opération toujours délicate, mais on amène l'image réfléchie en coïncidence avec le signal en faisant mouvoir l'alidade et on lit l'erreur de collimation, dont on tient compte dans les observations, en l'ajoutant avec son signe ± à tous les angles lus.

3° Voir *Théodolite*.

Sextant rapporteur.

C'est à peu de chose près un grand sextant de proportions réduites auquel on ajoute une demi-circonférence en cuivre *o*PM ayant pour centre *c*, ***le milieu du rayon*** *o*M, et dont l'alidade du miroir mobile **M** porte une rainure dans laquelle glisse un bouton P, fixé sur une alidade *c*Q pivotant autour de *c*.



Le triangle M*c*P est isocèle, l'angle extérieur P*co* = 2α.

Le centre *c* est marqué sur un petit diaphragme en corne transparente, de sorte qu'on peut le placer au dessus du sommet d'un angle que l'on veut construire en un point donné d'une ligne tracée sur le papier : on pose le bord intérieur d'une des alidades le long du côté déjà construit et l'on trace l'autre côté de l'angle suivant la seconde alidade.

(Voir l'instrument.)

On dit que le sextant rapporteur est excellent pour les reconnaissances militaires : nous pensons qu'un officier ne peut songer à emporter en campagne un instrument de l'espèce, dont il fera rarement usage d'abord et qu'il ne saura où caser sur sa personne.

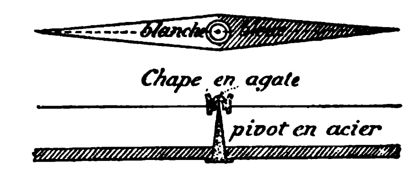
On emploie le sextant rapporteur à l'Institut cartographique militaire pour la revision des cartes; il paraît qu'on s'en trouve fort bien.

Boussole.

La boussole topographique est un goniomètre basé sur les propriétés de l'aiguille aimantée (*).

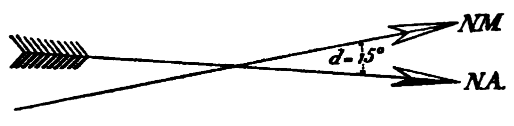
Propriétés de l'aiguille aimantée.

L'aiguille aimantée en usage dans la plupart des instruments topographiques est une lame d'acier très mince, ayant la forme d'un losange allongé et à laquelle on a donné des propriétés magnétiques en la frottant avec un aimant naturel.



Sa plus longue diagonale, celle qui passe par ses pointes, se confond avec son axe magnétique.

Lorsque l'aiguille est librement suspendue, son axe magnétique se place dans le plan du méridien *magnétique* du lieu où elle se trouve.



Le méridien magnétique et le méridien astronomique font entre eux un angle *d*, que l'on appelle déviation ou *déclinaison magnétique*.

Variations de la déclinaison magnétique. — La déclinaison de l'aiguille aimantée est très variable d'un lieu à un autre, elle est actuellement occidentale en Europe et en Afrique, orientale en Asie et dans les deux Amériques. De plus, dans un même lieu, elle présente de nombreuses variations; les unes, qu'on peut considérer comme régulières, sont séculaires, annuelles ou diurnes; les autres sont irrégulières et se désignent sous le nom de *perturbations*.

Variations séculaires. — Pour un même lieu, la déclinaison

(*) Voir page 63 de la 1re Partie.

varie avec le temps, passe de l'ouest à l'est, lentement, puis revient vers l'ouest.

En 1580 à Paris elle était de 11° 30′ à l'est
» 1663 » » 0°

Puis elle a augmenté vers l'ouest jusque 22° 34′ en 1814; depuis lors elle diminue.

La déclinaison magnétique est en ce moment d'environ 15° à l'ouest. Elle diminue de 8 à 10′ par année. Le bulletin de l'Observatoire Royal d'Uccle la donne tous les jours. Ce bulletin est imprimé (résumé) à la 4e page de la plupart des journaux de la Capitale.

Nous y lisons : Déclinaison magnétique, 13 mars 1893, à midi à Uccle 14° 57′ 40″ W [1].

Déclinaison magnétique, 10 juillet 1895, à midi à Uccle 14° 39′ 3″ W.

Variations annuelles. — Les variations annuelles sont peu connues et ne paraissent pas constantes. On les constate, elles existent tantôt dans un sens tantôt dans l'autre pendant des périodes ± longues.

Variations diurnes. — La déclinaison éprouve encore des variations diurnes qui sont assez faibles et que l'on ne peut observer que sur de longues aiguilles, à l'aide d'instruments très sensibles, mais qui, néanmoins, sont cause de ce que l'aiguille aimantée ne peut servir de repère pour un instrument de grande précision tel que le théodolite.

Dans nos climats, l'extrémité nord de l'aiguille (généralement bleuie au feu) marche tous les jours de l'est à l'ouest depuis le lever du soleil jusque vers 1 heure après-midi; elle retourne ensuite vers l'est et reprend à peu près sa position du matin vers 10 heures du soir.

La nuit, l'aiguille subit peu de variations, elle tend néanmoins à se déplacer vers l'ouest.

L'amplitude moyenne des variations diurnes est, pour avril,

---

[1] Voir le renvoi (1), page 64 de la 1re partie.

mai, juin, juillet, août et septembre, de 13 à 15 minutes et pour les autres mois, de 8 à 10 minutes.

Il y a des jours où elle s'élève à 25 minutes et d'autres où elle ne dépasse pas 5 minutes. Le maximum de déviation n'a pas lieu partout à la même heure. L'amplitude des variations diurnes décroît des pôles vers l'équateur, où elle est très faible.

Près de l'équateur, il existe une ligne sans variations diurnes.

Nous pouvons conclure, dès maintenant, qu'un goniomètre de grande précision ne peut être basé sur les indications de l'aiguille aimantée, mais qu'un instrument de l'espèce, tel que le tachéomètre Hannot, donnerait de meilleurs résultats au Congo qu'en Belgique : nous allons voir à présent les perturbations, plus grandes, plus inconstantes, plus mystérieuses que les variations.

Variations accidentelles ou perturbations. — Elles se produisent par suite :

1° De phénomènes naturels tels que les aurores boréales, les orages, les éruptions volcaniques, ...

2° De circonstances locales : ce sont là, pour nous topographes qui changeons d'emplacement à chaque observation, les variations les plus importantes et les plus à redouter.

Les montagnes, les masses un peu importantes, les gisements de minerais de fer, la présence du fer dans les œuvres d'art ou les constructions, etc., agissent parfois d'une façon très considérable sur l'aiguille aimantée.

Nous avons constaté, le 22 avril 1890, près de Boendael, que le voisinage d'un réverbère faisait dévier l'aiguille, moyennement sensible, d'une de nos boussoles, de 4 grades à la distance de 5 mètres. La visée réciproque (orientement inverse) et la vérification par des repères nous a immédiatement signalé cette perturbation. D'après le capitaine commandant Seranne, de l'Institut cartographique militaire, une grille verticale agit encore à 30 mètres.

Conclusions pratiques. — Éviter de se placer en station dans les environs du fer, surtout des tiges verticales en fer agissant comme paratonnerre (grilles, réverbères, poteaux indicateurs).

Faire usage des repères, dont un au moins doit être aperçu

de chaque station et prendre les azimuts réciproques (orientements inverses) pour chaque côté du canevas.

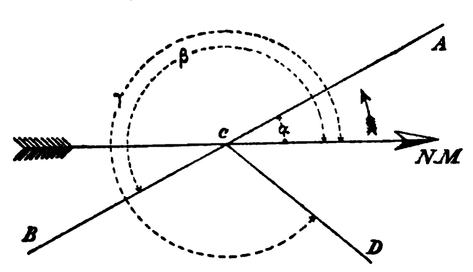
Les rails des chemins de fer et en général toutes les pièces de fer disposées horizontalement ont peu d'influence sur l'aiguille aimantée.

Travailler entre dix heures du matin et cinq heures de l'après-midi, moment de la journée où les variations diurnes sont les moins fortes.

Cesser momentanément les opérations à la boussole quand des phénomènes atmosphériques extraordinaires, tels que des orages en Belgique, se préparent ou se déroulent.

Azimut. — L'angle que fait la projection horizontale d'une direction avec le plan du méridien magnétique se nomme azimut, avons-nous dit (1re Partie).

En topographie, on compte d'habitude les azimuts à partir de la méridienne magnétique et du nord par l'ouest.



Azimut CA = α.

Id. CB = β = $(200 + \alpha)$, est dit azimut réciproque ou inverse de CA.

Azimut CD = γ.

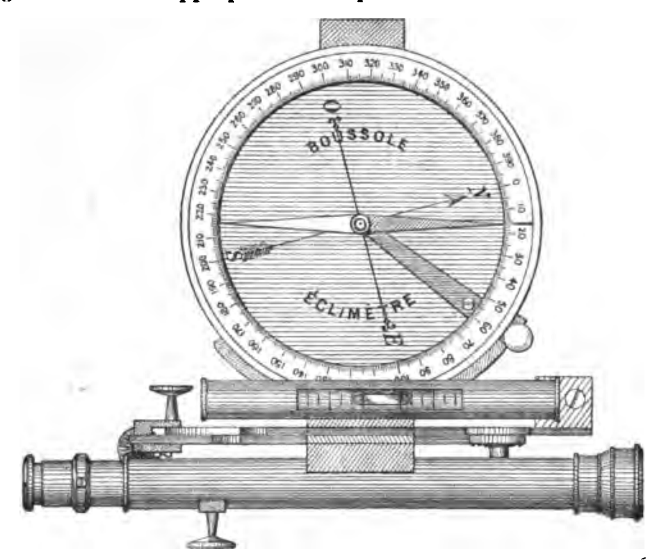
Principe. — Pour les instruments *topographiques*, la déclinaison magnétique peut être considérée, dans des conditions normales, comme constante dans l'étendue d'un levé topographique et pendant le temps que l'on consacre d'habitude à ce genre de levé.

Description sommaire de la boussole de l'École militaire de Bruxelles. — Cette boussole topographique se compose d'une aiguille aimantée mise en équilibre, au moyen d'une chape en agate, sur un pivot en acier, fixé au centre d'un limbe gradué (divisé en grades dans les nouvelles boussoles).

Le limbe et l'aiguille sont supportés par le fond d'une boîte cylindrique en cuivre d'un diamètre de 13 centimètres.

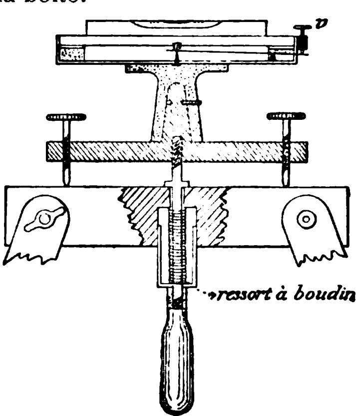
Un verre recouvre l'aiguille et le cercle gradué; le verre est

assez rapproché de l'aiguille pour qu'en renversant la boîte l'aiguille ne s'échappe pas de son pivot.



Pour éviter, lorsqu'on transporte la boussole d'une station à l'autre, que la pointe du pivot de l'aiguille soit faussée ou émoussée par les chocs de la chape, on soulève l'aiguille du pivot, au moyen d'un petit levier que commande une vis *v*, et qui la presse contre le verre de la boîte.

La boussole est portée par un trépied auquel elle se relie par une colonne creuse ou douille s'emboîtant sur un axe vertical porté par trois vis calantes. Les vis reposent par leurs pointes sur des supports en cuivre encastrés dans la tête du trépied. La boîte de la boussole peut tourner autour de l'axe vertical du système qui est perpendiculaire au plan de son limbe.

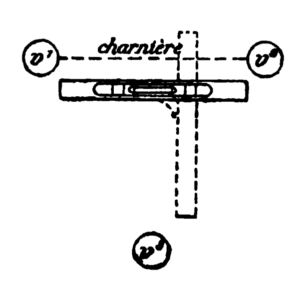


Une vis de liaison traverse la tête du trépied et relie l'axe vertical du système au trépied. Un ressort à boudin permet, après le serrage de la vis de liaison, de modifier légèrement encore l'inclinaison du limbe au moyen des vis calantes et suivant les indications d'un niveau ou de deux niveaux à bulle d'air.

Les niveaux permettent de rendre le plan du limbe de la boussole horizontal.

L'un des niveaux appartient en même temps à l'*éclimètre* annexé à la boîte du limbe.

Si l'instrument, comme les boussoles de l'École militaire, ne porte qu'un seul niveau, celui de l'éclimètre, on amène d'abord le niveau dans une direction parallèle au plan vertical qui passe par les pointes de deux vis calantes v^1v^2; on appelle la ***bulle*** entre ses repères en agissant sur une de ces vis; faisant alors tourner la boîte de la boussole de 100 grades autour de son axe vertical, on fait prendre au niveau, solidaire de son mouvement, une direction perpendiculaire à celle qu'il occupait d'abord; on agit sur la troisième vis v^3 pour caler le niveau. Les deux opérations ont déterminé deux horizontales perpendiculaires entre elles dans le plan du limbe, qui dès lors est horizontal [1] (voir le *Niveau à bulle d'air).*



---

[1] On n'obtient pas rigoureusement deux horizontales, la charnière v^1v^2 du mouvement, dans le second calage, passant par les pointes des vis calantes v^1v^2 qui reposent sur la tête du trépied placée horizontalement *à vue :* cette mise horizontale approximative du plateau du trépied suffit pour la boussole, qui n'est pas un instrument de haute précision.

Les têtes des trépieds, supports des vis calantes, dans les théodolites perfectionnés, portent un niveau sphérique et sont reliées aux branches par une calotte sphérique dans le genre de celle de la planchette GOULIER : on commence par rendre le plan du support horizontal au moyen de ce niveau.

Du reste, en recommençant une ou deux fois l'opération, on peut arriver à mettre la boussole de l'École militaire en *station parfaite,* ce qui n'est pas du tout indispensable.



Avant de lire un angle de pente on appelle exactement la bulle entre ses repères (voir *Éclimètre)*.

Nous préférons les boussoles à un seul niveau : le second niveau est plus gênant qu'utile, et son réglage est difficile.

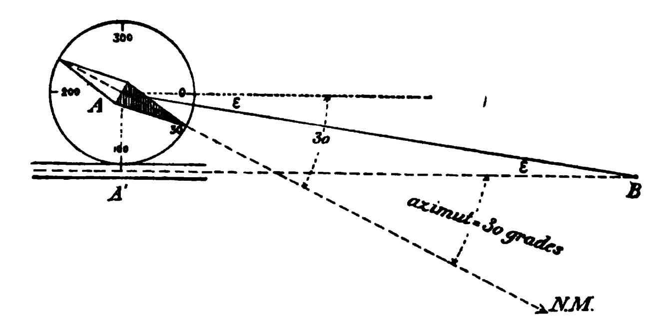
S'il y a deux niveaux, ils sont perpendiculaires entre eux : on en place un parallèlement au plan vertical qui passe par les pointes de deux vis calantes; on appelle la bulle entre ses repères en agissant sur une de celles-ci; on cale le second niveau en actionnant la troisième vis.

Une *lunette astronomique* plongeante, dont l'axe optique peut se mouvoir (autour d'un pivot fixe) dans un plan perpendiculaire au plan du limbe de la boussole et parallèlement à son diamètre 0-200, complète le goniomètre.

La boussole topographique mesure les azimuts des plans verticaux passant par les lignes du terrain.

Pour observer l'azimut d'une direction, on place le centre de la boussole dans la verticale passant par l'une de ses extrémités; on rend le limbe horizontal au moyen du niveau; on pointe la lunette sur le voyant d'une mire tenue à l'autre extrémité; on lit sur le limbe la graduation vis-à-vis de laquelle s'arrête la pointe *bleue* de l'aiguille aimantée.

Erreur d'excentricité. — Pour que l'azimut lu fût exact, il faudrait que la lunette fût dans le plan vertical passant par le diamètre 0-200.



C'est en effet le centre du limbe que nous avons placé dans la verticale du point A, nous ne visons donc pas suivant AB, mais suivant une direction A'B qui fait avec AB un angle ε.

$$\text{Azimut AB} = 30 - \varepsilon.$$

Le triangle AA′B nous donne :

$$AA' = AB \sin \varepsilon$$

ou

$$\sin \varepsilon = \frac{AA'}{AB}.$$

ε, erreur que nous commettons, est d'autant plus grande que AA′ est grand et AB petit. Or, AA′ est la distance de l'axe optique de la lunette au centre du limbe et AB la distance de l'instrument à la mire.

AA′ est une quantité constante, la distance AB dans un levé est un côté du canevas. Il importe donc de ne pas prendre des côtés trop petits : calculons la longueur du côté le plus petit qu'il convient de prendre.

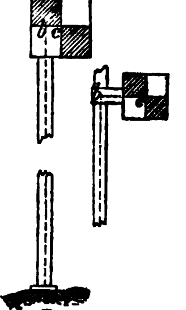
Pour les boussoles de l'École militaire AA′ est d'environ $0^{m},07$. Si l'on tient compte de ce que les azimuts sont appréciés à la pointe de l'aiguille, sans vernier, qu'ils sont ensuite construits sur la planchette au moyen du rapporteur, on admettra facilement qu'une erreur $\varepsilon = 10'$ est sans conséquence *pratique*.

Introduisons $AA' = 0^{m},07$ et $\varepsilon = 10'$ dans l'expression

$$\sin \varepsilon = \frac{AA'}{AB}; \text{ elle devient } \sin 10' = \frac{0,07}{AB}.$$

$$AB = \frac{0,07}{\sin 10'} = 24^{m},06.$$

On ne prendra donc pas des côtés de polygone plus petits que 24 mètres.



Si l'on prenait $\varepsilon = \frac{1}{4}$ grade, 25 minutes centésimales ou $13\frac{1}{2}$ minutes sexagésimales, on obtiendrait $AB = 18^{m},50$.

Nous avons vu, en parlant de la lunette-stadia, que la longueur maxima qu'il convient de mesurer à l'aide de ce diastimètre est égale à $1200 \times \varphi$, c'est-à-dire $1200 \times 0^{m},20 = 240$ mètres pour nos lunettes (voir p. 69).

Les côtés auront donc de 24 à 240 mètres dans nos levés à la boussole-stadia-éclimètre.

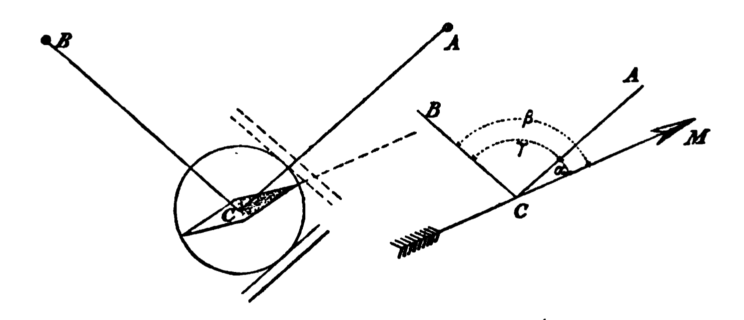
On a imaginé des mires spéciales dont la ligne de foi verticale du voyant n'est pas dans l'axe de la mire mais parallèle à celui-ci : ce dispositif supprime l'erreur d'excentricité de nos boussoles

$$bc = AA' \text{ de la boussole.}$$

Ces mires sont plus délicates et d'un maniement plus difficile que la mire de l'Institut cartographique militaire et le perfectionnement est pratiquement sans valeur.

Levé et construction d'un angle à l'aide de la boussole. — Soit l'angle ACB à lever, puis à construire sur la minute.

On place l'instrument *en station* [1] au sommet C, le centre du limbe de la boussole dans la verticale de C, en s'aidant



d'un fil à plomb qu'on laisse descendre sur le point C; on rend le limbe horizontal à l'aide du niveau à bulle d'air; on pointe la lunette sur le centre du voyant de la mire, tenue en A; on lit et on inscrit dans un carnet α, azimut de CA; on pointe sur la mire tenue en B; on lit et on inscrit β, azimut de CB.

On construit au point C de la planchette de dessin les azimuts α et β à l'ouest de la méridienne magnétique, tracée *préalablement* sur la minute.

---

[1] Voyez la mise en station, donnée dans tous ses détails, dans le *Programme du levé à la boussole-éclimètre,* annexé à cette 2e Partie.

On peut construire l'angle ACB sans le secours de la méridienne : on construit simplement un angle γ égal à β-α.

Conditions de construction, vérifications et corrections. — 1° *L'aiguille aimantée doit être sensible.*

On l'attire, à travers le verre qui la recouvre, au moyen d'un morceau de fer — clef, canif, clou, chaîne d'arpenteur — : les déviations dues à la présence du fer doivent être fortes; l'action du fer cessant, l'aiguille, après deux ou trois secondes d'oscillations bien régulières [1], doit s'arrêter vis-à-vis de la ***même*** division du limbe qu'elle marquait avant l'expérience.

L'intensité de la force magnétique qui anime l'aiguille s'altère par diverses causes; il est prudent de constater de temps en temps son état magnétique.

Pratique. — Avant de lire un azimut, on donne quelques coups secs avec le doigt ou un crayon sur le verre de la boussole : un peu de poussière ou de rouille dans la chape pourrait arrêter l'aiguille dans une direction voisine de la méridienne magnétique.

Si l'aiguille ne revenait pas devant la même division du limbe, avant de conclure qu'elle n'est pas assez aimantée, il faudrait donc visiter la chape et examiner si elle ne contient pas de poussière, voir si le pivot n'est pas rouillé.

2° *Le limbe doit être bien divisé et bien centré.*

Les machines à diviser sont actuellement si perfectionnées que le limbe sera généralement suffisamment bien divisé, si l'instrument provient d'une bonne maison.

On pourrait faire des vérifications analogues à celles que nous avons indiquées pour le théodolite, mais on ne parviendrait à en tirer aucune conclusion sérieuse, la lecture des azimuts se faisant trop grossièrement (sans vernier).

De plus, il serait nécessaire de s'assurer d'abord de ce que le limbe est bien centré et l'aiguille parfaitement construite (voir 3° et 4°).

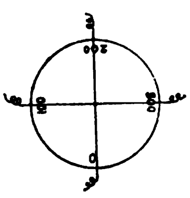
On peut vérifier si la pointe du pivot est au centre du limbe

[1] Après 20 ou 30 oscillations isochrones.



en tendant un fil d'argent très mince (ou un fil de soie) suivant les deux diamètres, 0-200 et 100-300, après avoir enlevé l'aiguille.

Le défaut de centrage donne naissance à une erreur variable, mais que l'on peut éliminer en faisant la lecture aux deux extrémités de l'aiguille et en prenant la demi-somme des lectures, diminuée de 100 grades si l'azimut est moindre que deux droits ou augmentée de 100 grades si l'azimut est plus grand que deux droits.



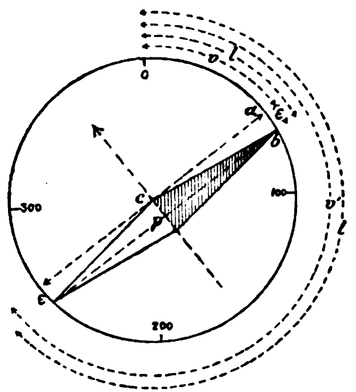
Soit en effet *c* le centre du limbe, *ca* la direction que devrait prendre l'axe de l'aiguille; *p* la pointe du pivot, *pb* l'axe de l'aiguille.

1. L'azimut lu est l, l'azimut vrai est $v = l - \varepsilon$.

L'azimut réciproque lu est l', l'azimut réciproque vrai est $v' = l' + \varepsilon$.

$$v + v' = l - \varepsilon + l' + \varepsilon = l + l'$$

or $\quad v' = v + 200.$



Remplaçons v' par sa valeur

$$v + v + 200 = l + l'$$

$$2v = l + l' - 200$$

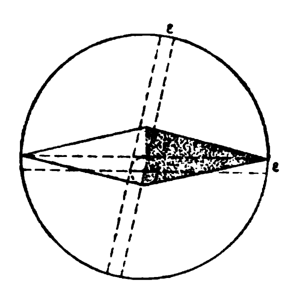
$$v = \frac{l + l'}{2} - 100.$$

2. La pointe bleue est tournée dans un sens diamétralement opposé (l'azimut observé est > que 200 grades).

On trouvera de la même façon $v' = \dfrac{l + l'}{2} + 100.$

La figure montre que ε est variable, elle est maxima dans la position *pb* que nous avons choisie et nulle dans une position perpendiculaire à *pb*, puisque *c* et *p* sont alors sur un même diamètre.

Le défaut de centrage est assez commun : on peut ramener soi-même la pointe du pivot au centre du limbe à l'aide de pinces, mieux vaut renvoyer l'instrument au mécanicien. Il ne faut faire des calculs sur le terrain qu'en cas d'absolue nécessité.



3° *L'axe de l'aiguille doit passer par le centre du limbe.*

Si cette condition n'est pas remplie tous les angles lus seront trop grands ou trop petits d'une quantité constante ε.

On éliminera cette erreur, de la même façon que l'erreur provenant du défaut de centrage, par la lecture aux deux pointes.

1°, 2°, 3°, conclusion. — Dans notre levé de terrain à Bruxelles, pour le polygone et les traverses de la planimétrie, nous lirons aux deux pointes de l'aiguille, tandis que lorsque nous lèverons des détails ou des directions de coups de niveau, nous nous contenterons de lire à la pointe bleue.

4° *L'axe de figure de l'aiguille doit se confondre avec son axe magnétique.*

Pour s'en assurer, le mécanicien lit un azimut à la pointe bleue, retourne l'aiguille sans dessus dessous sur le pivot, et lit de nouveau : les deux azimuts doivent être égaux.

Cette vérification ne peut se faire que dans un atelier, au moyen d'une chape spéciale parfaitement construite.

Si l'on constate un défaut de construction, ce défaut donnera lieu à une erreur *constante,* qu'il sera impossible d'éliminer, mais qui n'aura aucune influence sur les opérations de la planimétrie. Tous les azimuts seront comptés à partir d'une *même* méridienne fausse; il suffira d'orienter exactement la planchette, après l'exécution du levé, d'après une méridienne astronomique bien déterminée ou au moyen d'un bon déclinatoire.

5° *Le plan du limbe de la boussole doit être perpendiculaire à l'axe vertical de l'instrument.*

On enlève le verre qui recouvre l'aiguille, on place un niveau à patin indépendant sur le limbe, on cale ce niveau bien réglé

dans deux directions perpendiculaires entre elles au moyen des vis calantes, puis on fait faire une rotation complète à la boîte autour de l'axe du système : La bulle doit rester entre ses repères.

Cette vérification demande de l'habitude.

Si cette condition n'est pas remplie, lorsque l'instrument est neuf, on ne l'acceptera pas.

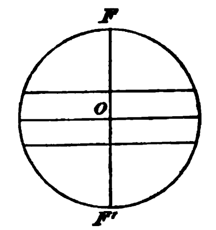
Pratique. — On se borne généralement, après avoir rendu l'axe du système vertical au moyen des niveaux, à faire faire une révolution complète à la boîte de la boussole : Il faut que l'écart en hauteur des pointes de l'aiguille, par rapport au plan du limbe, ne varie pas d'une manière gênante pour les lectures.

6° *Le ou les niveaux destinés à assurer la mise horizontale du limbe doivent être réglés.*

Voyez le *Niveau à bulle d'air* et le *Programme du levé à la boussole-éclimètre*, chap. II, fin de cette 2e Partie.

7° *Le fil* FF' *du réticule de la lunette doit être vertical lorsque l'instrument est calé. (Les autres fils doivent être perpendiculaires à* FF' *c'est-à-dire horizontaux.)*

On cale l'instrument, on vise une arête de mur ou un fil à plomb. Si le fil ne bissecte pas exactement la verticale on desserre les vis du châssis du porte-réticule et l'on fait tourner le châssis dans le tube jusqu'à ce que la condition soit remplie. On serre ensuite à fond les vis du châssis.



On constate facilement à vue si les fils horizontaux sont perpendiculaires à FF'. (Voir une vérification mécanique donnée à propos du *Niveau Lenoir.)*

8° *L'axe optique de la lunette, dans son mouvement plongeant, doit engendrer un plan vertical, lorsque l'instrument est calé.*

On cale *soigneusement* la boussole, on vise un long fil à plomb, on imprime un mouvement plongeant à la lunette dont la *croisée* O des fils diamètres du réticule doit rester constamment sur le fil à plomb.

Si cette condition n'est pas remplie, rendre l'instrument au

constructeur : il se produira, comme nous l'avons vu en parlant du théodolite, des erreurs variables dans la mesure des angles horizontaux.

9° ***Le plan de collimation vertical de la lunette doit être parallèle au diamètre 0-200 du limbe de la boussole.***

Pour s'en assurer, le mécanicien place une lunette de contrôle sur le diamètre 0-200 et pointe cette lunette sur un objet très éloigné; puis il regarde dans la lunette de l'instrument et s'assure de ce que son axe optique passe également par le même objet.

L'existence de cette condition n'est pas absolument indispensable; s'il y a un défaut de parallélisme, ce défaut n'affectera pas la mesure des angles, tous les azimuts seront comptés à partir d'une ***même*** méridienne, qui ne sera pas la méridienne magnétique, mais fera avec celle-ci un angle constant.

Il suffira d'orienter exactement le levé, après son exécution, en se servant d'un bon déclinatoire ou en levant une méridienne astronomique tracée sur le terrain en un point du ***canevas***.

10° ***L'aiguille doit être bien équilibrée.***

Elle doit donc affleurer de ses deux pointes le bord du limbe, lorsque celui-ci est horizontal.

Si cette condition n'était pas remplie la lecture des azimuts serait difficile; on rendrait l'instrument au constructeur, qui enlèverait à la lime un peu de métal du côté le plus pesant de l'aiguille. Au besoin, on ferait cette petite opération soi-même.

On peut aussi remédier à ce défaut en lestant la pointe la plus légère d'un petit morceau de cire.

Levé à la boussole.

Le *Programme du levé à la boussole-éclimètre* de l'École militaire, que nous avons annexé à cette 2e Partie, donne dans tous leurs détails les opérations que l'on doit exécuter : nous l'avons rédigé de façon à ce que le débutant puisse exécuter *l'une après l'autre* les opérations sur le terrain pendant qu'il suit le texte du programme *mot à mot*.

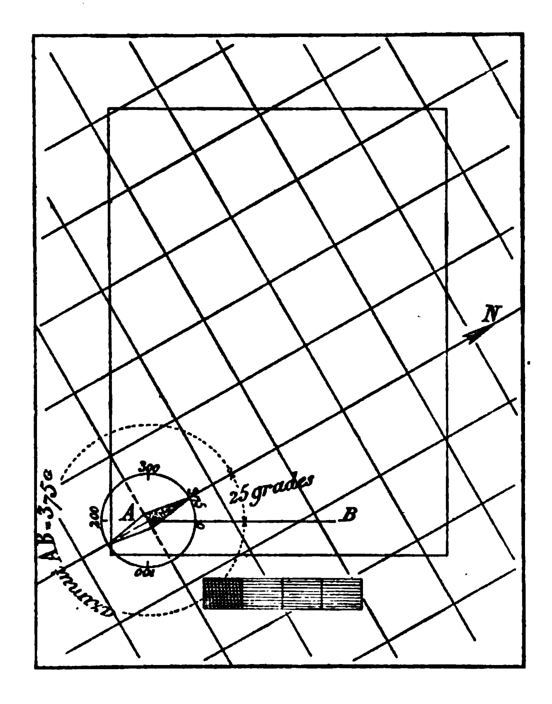
Ce programme doit cependant être connu à fond avant l'ouverture des travaux.



Voyez aussi page 15, *Aperçu général des opérations d'un levé* et le paragraphe *Échelles* de la 1re Partie.

A. ***Travail préparatoire.*** - *Programme,* chap. I.

Le premier jour on se rend sur le terrain avec la planchette-minute sur laquelle on n'a tracé que l'échelle, le cadre approximativement et la direction de la base AB.



On lève l'azimut AB et le soir, en rentrant à domicile, on trace le treillis de méridiens et de parallèles comme l'indique le *Programme* et comme le montre la figure que nous donnons pour compléter les renseignements de ce programme.

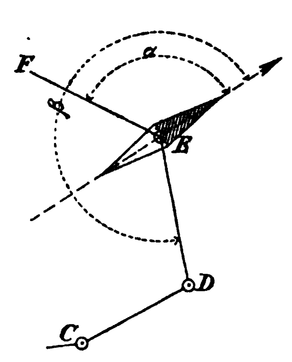
B. ***Reconnaissance du terrain.*** — *Programme,* chap. III.

C. ***Opérations sur le terrain ou levé proprement dit.*** — *Programme,* chap. II, IV, VI, VII, VIII et Annexes.

Ajoutons ici quelques mots :

Supposons qu'arrivé à la station E on constate que les azimuts

ED et DE ne diffèrent pas de 200 grades : cela prouve, si l'azimut DE a été bien observé, qu'il y a perturbation en E.

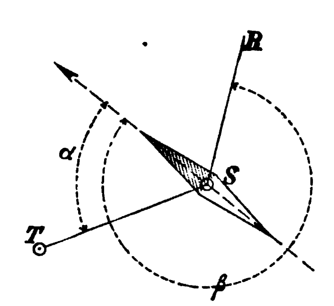


Comme la perturbation se fera sentir pour la détermination de l'azimut EF, cet azimut sera faux, et l'on ne pourra s'en servir pour tracer le côté EF sur la planchette au moyen du treillis des méridiennes et des parallèles.

Mais, l'aiguille étant soumise à la même cause de déviation pendant l'observation des deux azimuts ED et EF, l'angle FED est égal à $\beta - \alpha$, la différence des deux *azimuts lus*.

On construira donc en E un angle DEF $= \beta - \alpha$.

Seulement, l'aiguille n'occupera pas toujours, par rapport aux côtés, une position telle que celle que nous avons prise comme exemple.



Examinons un autre cas :

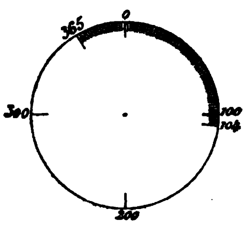
L'angle RST n'est pas égal à $\beta - \alpha$, mais bien à $400 + \alpha - \beta$.

On peut énoncer une règle théorique qui s'applique à tous les cas, mais nous ne la donnerons pas : nous sommes adversaire de tout ce qui est formules et calculs sur le terrain, nous préférons faire résoudre le problème par l'instrument, qui n'a pas à se remémorer des formules et n'est pas sujet à des distractions.

Résolvons donc pratiquement, comme exemple, le second cas.

On examinera tout simplement la portion du limbe qui passera vis-à-vis de la pointe bleue de l'aiguille immobile, pendant le mouvement de rotation qu'il faut imprimer à l'instrument pour passer du pointage sur R au pointage sur T, l'objectif de la lunette restant tourné vers l'ouverture de l'angle à construire, et l'on prendra le nombre de grades compris dans cette portion du limbe.

Exemple concret. — On a pointé sur R et l'azimut SR = 365; on pointe sur T et on lit azimut ST = 104. On a remarqué que la portion 365 — 0 — 100 — 104 du limbe est passée devant la pointe bleue de l'aiguille.

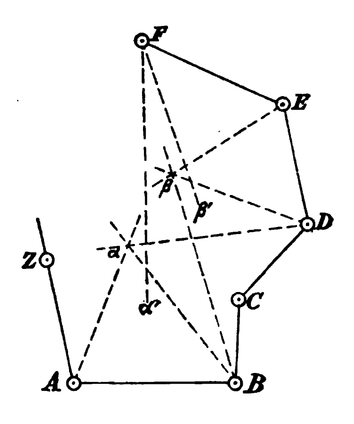


L'angle RST = 104 grades + l'arc compris entre 0 et 365 (ou 400 — 365).

L'angle RST = 104 + (400 — 365) = 104 + 35 = 139 grades.

On résoudra tous les cas par cette méthode aussi sûre que facile à appliquer.

Utilité des repères. — En F, on constate que Fα' et Fβ', construits d'après les azimuts Fα et Fβ *lus* sur la boussole, ne passent pas par α et β déjà construits sur la planchette-minute. α et β sont deux repères bien déterminés par des recoupements de A, B, D et E.



Les azimuts EF et FE diffèrent exactement de 200 grades : Il n'y a donc pas de perturbation locale en F; une erreur s'est par conséquent produite dans la mesure du côté EF ou dans la construction de ce côté sur la planchette, soit en longueur, soit en direction. Il importe, avant de continuer les opérations, de rechercher l'erreur : on commence par vérifier la *construction* à partir de E; si l'on ne trouve rien, on mesure de nouveau EF.

Fermeture du polygone. — Les opérations de la planimétrie sont réputées exactes, lorsque le polygone ferme en longueur et en direction, c'est-à-dire lorsque le dernier côté ZA, construit d'après son azimut, passe par A, et que ZA mesuré sur le terrain et réduit à l'échelle est égal à ZA sur la planchette.

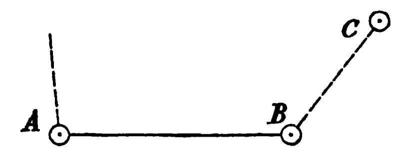
Une grosse erreur ne pourra se produire si les opérations ont été effectuées avec soin, si la vérification par les repères a toujours donné pleine satisfaction.

Si une légère erreur en longueur et en direction se présentait

à la fermeture, on réussirait souvent à l'éliminer en construisant le polygone à rebours; on arriverait généralement à placer l'un des sommets de la seconde construction précisément au même point que le même sommet de la première construction : on s'arrêterait à ce sommet dans la construction à rebours.

Si l'erreur est forte, il faut revoir toute la construction et au besoin recommencer toutes les opérations : ce sera presque toujours le treillis de méridiens et de parallèles, qui n'aura pas été construit avec assez de soin, qui causera ce mécompte.

Après la fermeture du polygone de base, on passe les côtés à l'encre de Chine pas trop noire; les côtés qui suivent les pentes régulières du terrain en traits pleins très fins, ceux qui ne sont pas des lignes du terrain naturel en traits interrompus. Autour des sommets on trace des circonférences de 2 millimètres de rayon.



On lève les traverses de la même façon que le polygone de base. (Voir le *Programme*, chap. V, VI, VII, IX et Annexes).

Pour le levé des détails, voir le *Programme*, chap. VIII.

D. ***Travail à domicile, mise au net.*** — *Programme*, chap. V et XI.

Description sommaire du tachéomètre Hannot et du tachéomètre de Goulier [1].

Goniographes.

Les goniographes sont des instruments qui permettent d'observer et de *construire* directement, sur le papier, les angles, réduits à l'horizon, que font entre elles deux directions du terrain naturel.

---

[1] *Description et usage du tachéomètre, instrument topographique simplifié et rendu portatif* par Hannot, lieut.-colonel; Bruxelles, C. Muquardt, 1889. Le lieut.-colonel pensionné Hannot a passé sa vie à l'Institut cartographique militaire : c'est un praticien doublé d'un écrivain topographe; ses écrits, que nous avons cités plus d'une fois, sont aussi intéressants qu'utiles à consulter.



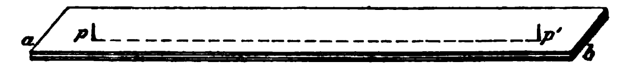
Planchettes.

Planchette topographique. — Elle se compose d'une *planchette* carrée de 50 à 80 centimètres de côté, montée sur un pied à trois branches et reliée à ce pied par un appareil quelconque.

Sur la planchette est collée par ses bords une feuille de papier destinée à recevoir le dessin.

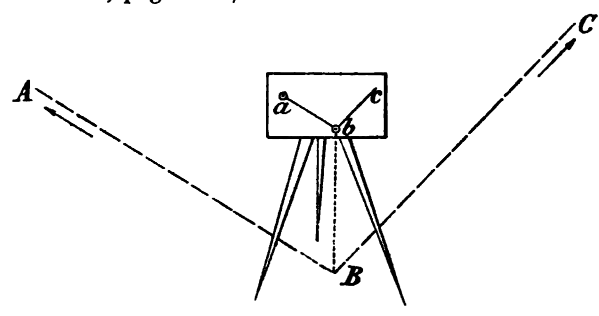
Une alidade complète l'instrument auquel il est cependant indispensable d'adjoindre un diastimètre, une mire et quelques jalons

Une *alidade* est une règle plate sur laquelle sont fixés deux montants, ou un seul montant, formant ou supportant un appareil



qui donne un plan de visée perpendiculaire à la règle. Le plan de visée passe par un de ses bords que l'on désigne sous le nom de *ligne de foi,* ou bien lui est simplement parallèle.

Une règle plate en bois, sur laquelle on aurait piqué deux épingles *p* et *p'*, de telle façon que la ligne *pp'* soit parallèle au bord *ab*, formerait une alidade dont *ab* serait la ligne de foi. (Voir *Alidades,* page 148.)



La mire, qui peut être remplacée par un simple jalon ou même par un détail bien net du terrain, est une mire quelconque.

Comme diastimètre, on se sert d'un double mètre, ou d'une chaîne d'arpenteur, ou de la lunette de l'alidade.

Opérations. — Le côté AB ayant été mesuré à l'aide d'un

diastimètre et porté sur la planchette, réduit à l'échelle du dessin, il s'agit de construire, à l'aide de la planchette, l'angle *abc*, réduction à l'horizon de l'angle ABC du terrain.

On procède à la *mise en station* de la planchette topographique au sommet B de l'angle à lever.

La mise en station comprend trois opérations :

1° La mise à niveau.

2° La mise au point.

3° L'orientation ou déclinaison.

La *mise à niveau* consiste à placer horizontalement la feuille de dessin collée sur la planchette. On y arrive au moyen d'un niveau à bulle d'air, généralement un niveau sphérique encastré dans la règle de l'alidade; à la rigueur une simple bille bien ronde suffit.

La mise à niveau est nécessaire pour avoir les angles réduits à l'horizon, c'est-à-dire déterminés et construits dans le plan horizontalement disposé du dessin.

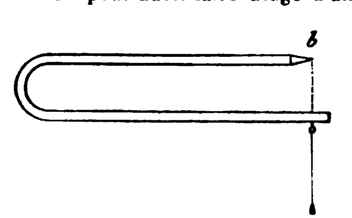
La *mise au point* a pour but d'amener le point *b* de la planchette dans la verticale passant par le point B, son homologue du terrain.

La mise au point se fait aussi exactement que possible à vue, puis on la rectifie au moyen du fil à plomb, en déterminant deux plans verticaux à angle droit passant par B, comme nous l'avons fait pour planter verticalement un jalon [1].

L'*orientation ou déclinaison* est l'opération par laquelle on amène le côté *ba*, tracé sur la planchette, dans le plan vertical qui contient BA, son homologue du terrain

On y arrive en visant par l'alidade, dont la ligne de foi est tenue

[1] On peut aussi faire usage d'une fourche en bois ou en métal dont la branche supérieure est terminée en pointe et dont la branche inférieure, exactement sous cette pointe, porte un fil à plomb. On engage la fourche dans la planchette, et, lorsque la pointe couvre le point *b* et que le plomb tombe sur B, *b* est dans la verticale passant par B. C'est un instrument encombrant dont on se passe facilement.



en contact avec deux épingles piquées en *b* et en *a*, et *en faisant tourner la planchette* jusqu'à ce que la ligne de visée passe par la mire, le jalon ou le signal A, le point *b* restant dans la verticale de B.

La mise en station terminée, on fixe *solidement* la planchette sur la tête du trépied pour empêcher qu'elle se dérange; puis, plaçant la ligne de foi de la règle contre l'épingle *b*, on promène la ligne de visée sur l'horizon jusqu'à ce qu'elle passe par le signal C; on trace alors *bc* le long de la ligne de foi.

L'angle *abc* est l'angle ABC réduit à l'horizon, puisque la planchette est horizontale et que *ba* et *bc* sont dans des plans verticaux passant par BA et BC.

On mesure BC sur le terrain, on le réduit à l'échelle et on porte *bc*, sa réduction, sur le côté que l'on vient de tracer.

La mise en station, en apparence très simple, est pratiquement fort difficile et fort laborieuse si l'on ne possède un support de planchette très perfectionné et si l'on ne procède méthodiquement : c'est qu'en effet la seconde opération dérange souvent la première et la troisième les deux autres.

La planchette topographique fut inventée vers la fin du XVI[e] siècle, par le mathématicien allemand Prœtorius.

Les différents types de planchettes se distinguent les uns des autres par le système qui relie la tablette au trépied et facilite plus ou moins la mise en station. Il en existe une grande variété.

Nous parlerons de la planchette de l'École militaire de Bruxelles, de la planchette de l'École de Metz, de la planchette à calotte sphérique de Goulier et de la planchette suisse.

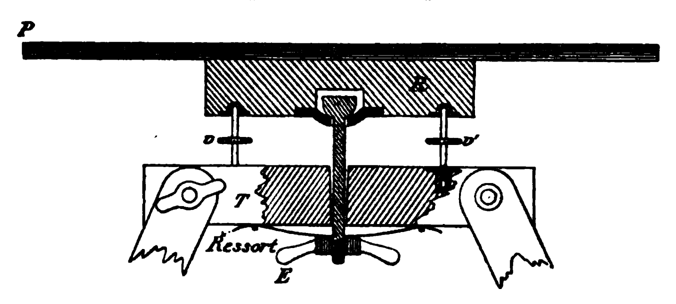
Nous ne dirons qu'un mot des deux premières, dont on se servit longtemps avec succès, mais qui sont passées dans le domaine de l'histoire de la topographie.

Planchette de l'École militaire de Bruxelles.

Une planchette de renfort R, fixée à la planchette de dessin P, porte une rainure circulaire en cuivre qui s'engage sur les têtes de trois vis à caler v, v', v''.

Ces vis ont leurs écrous dans la tête du trépied T, aux

sommets d'un triangle équilatéral. Une tige, liée par une articulation à la tablette de renfort R, traverse la tête du trépied et un ressort à trois branches adapté à la face inférieure de celle-ci; l'extrémité filetée de la tige est reçue dans un écrou de pression E, qu'on serre à volonté pour permettre ou défendre le mouvement de rotation de la planchette sur les têtes des vis calantes. Le ressort a pour but de permettre de modifier légèrement l'inclinaison de la planchette lorsque l'écrou E est serré.



La mise à niveau et l'orientation sont relativement faciles, mais la mise au point exige un déplacement de tout l'instrument, si la mise en station à vue n'a pas été suffisamment bien faite. Le grand défaut de cette planchette consiste dans l'impossibilité d'opérer des mouvements de translation dans un plan horizontal.

Planchette de l'École de Metz.

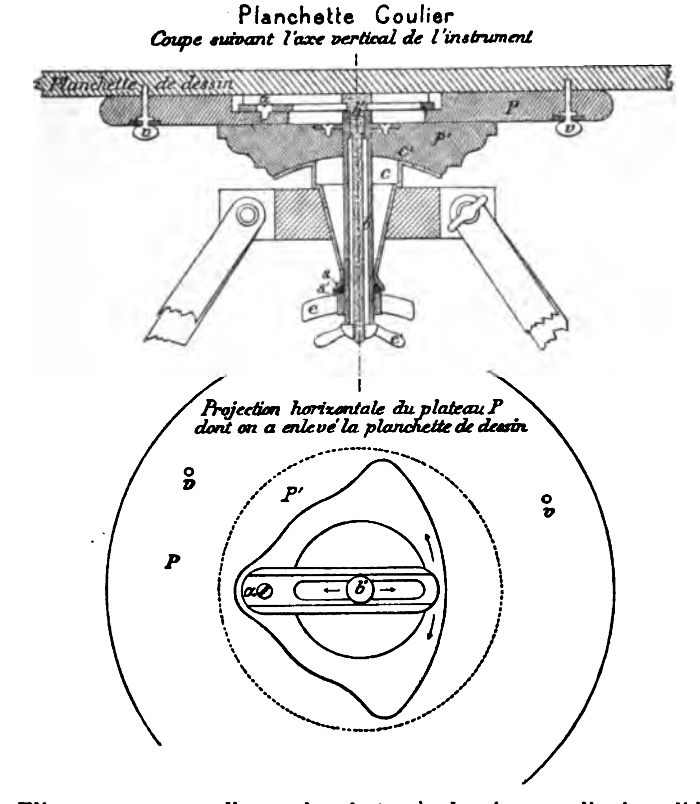
C'est à peu près la précédente dont on aurait supprimé les vis calantes.

La planchette de renfort repose par sa rainure en cuivre sur un bourrelet circulaire en saillie, encastré dans la tête du trépied. Les mouvements de rotation sont seuls possibles, la mise à niveau exige que l'on enfonce plus ou moins les pieds dans le sol ou qu'on déplace tout le système.

Ces deux instruments, malgré leurs imperfections, ont été fort en usage. La planchette est un goniographe très expéditif; une mise en station approximative engendre moins d'erreurs graphiques, dans les opérations de certains levés, que l'emploi successif d'un goniomètre et d'un rapporteur.

Planchette Goulier.

La *Planchette à calotte sphérique* du colonel Goulier est l'instrument le plus perfectionné dans ce genre.



Elle se compose d'une planchette à dessiner ordinaire, liée à un trépied à doubles branches par l'intermédiaire de deux plateaux P et P'.

Le plateau inférieur P' est creusé à sa partie inférieure en forme de calotte sphérique *c'* qui repose sur une calotte en cuivre *c*, portée par la tête du trépied et présentant, suivant son axe, *un évidement évasé* vers le haut.

Cette disposition rend possible un mouvement de genou qui

donnera à volonté au plateau, et par suite à la planchette de dessin, certaines inclinaisons limitées par le jeu d'un boulon creux *b*, dans l'évidement tronconique de la calotte de cuivre.

Le mouvement d'inclinaison est arrêté d'une façon radicale lorsqu'on serre un écrou *e*, qui se visse sur l'extrémité du boulon creux et vient comprimer une bague *s'*, présentant une surface sphérique contre une couronne sphérique en cuivre *s*, ce qui détermine une pression très énergique de la calotte creuse *c'* du plateau P' contre la calotte en cuivre *c*.

Dans le boulon creux *b* passe un boulon plein *b'*, qui permet de fixer les deux plateaux l'un à l'autre.

Un écrou *e'* se fixe sur l'extrémité du boulon plein et vient prendre appui contre l'extrémité du boulon creux, tandis que la tête du boulon plein s'engage dans un coulisseau logé dans un évidement du plateau P.

Lorsque l'écrou *e'* est complètement desserré, le plateau supérieur P et par suite la planchette de dessin, qui fait corps avec lui par l'intermédiaire de trois vis à clef *v*, grâce au coulisseau mobile autour d'un centre α, peuvent prendre, par rapport au plateau inférieur P', un mouvement de translation dans tous les sens et dans une étendue de cinq centimètres environ à partir de la position moyenne.

Si l'on serre *légèrement* l'écrou *e'*, le frottement des plateaux empêche les mouvements de translation mais n'est pas assez fort pour empêcher un mouvement de rotation de la planchette autour du boulon *b'*.

Lorsqu'on serre énergiquement l'écrou *e'*, toute espèce de mouvement devient impossible.

Voyons comment on profite de ces dispositions pour mettre la planchette en *station*.

Mise en station de la planchette Goulier. — On commence par placer les différentes pièces mobiles dans une position moyenne les unes par rapport aux autres : Les deux calottes sphériques qui produisent le mouvement de genou se recouvrant exactement, les deux plateaux bien concentriques.

On serre alors les deux écrous.

Puis on transporte la planchette, toute d'une pièce, au-dessus

du point du terrain où l'on veut opérer, et, en écartant ou en rapprochant ses pieds, on cherche à satisfaire *à vue* aux trois conditions qui constituent la mise en station, et cela quand les pieds sont solidement enfoncés dans le sol.

(1° Mise horizontale, 2° mise au point, 3° déclinaison.)

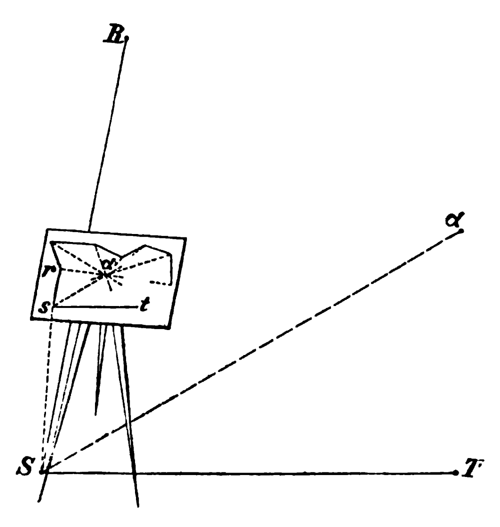
Cette première opération est ce qu'on appelle *la mise en station approximative à vue.*

On rectifie ensuite de la manière suivante :

1° *Mise horizontale.* On desserre légèrement l'écrou *e* et l'on profite du mouvement de genou pour rendre la planchette horizontale, par des pressions ou de petits chocs à la main, en se servant des indications du niveau sphérique encastré dans l'alidade, que l'on a placée vers le milieu de la planchette.

On serre fortement l'écrou *e*.

2° *Mise au point.* On desserre l'écrou inférieur *e'*, ce qui rend possibles les mouvements de translation et de rotation de la planchette *dans un plan horizontal.* On amène le point *s*, sommet de station construit sur la planchette, dans la verticale passant par son homologue S du terrain. Cela se fait habituellement avec un aide, mais un aide n'est pas indispensable : on détermine deux plans verticaux perpendiculaires entre eux au moyen du fil à plomb, ou bien on se sert de la fourche dont nous avons parlé page 140.



On serre légèrement l'écrou *e'*, de façon à rendre impossible, par le frottement des deux plateaux l'un contre l'autre, les

mouvements de translation, mais de manière à ne pas produire un frottement si énergique qu'on ne puisse encore donner à la planchette des mouvements de rotation.

3° *Orientation ou déclinaison.* On a, avant la mise en station approximative à vue, piqué deux fines aiguilles de même diamètre en *r* et en *s* : on place la ligne de foi de l'alidade contre ces deux aiguilles et l'on amène la ligne de visée sur le signal R en imprimant un mouvement de rotation convenable à la planchette *entraînant l'alidade dont la ligne de foi reste en contact avec les aiguilles.*

On serre fortement l'écrou *e'*, et *tout mouvement* de la planchette de dessin est désormais impossible.

On vise alors le signal T, la ligne de foi de l'alidade étant en contact avec l'aiguille *s*, et l'on trace *st*.

Remarques. — On a eu soin de s'assurer de ce que le point *s* est bien construit sur la planchette (c'est-à-dire de ce que RS a été bien mesuré sur le terrain, puis exactement réduit à l'échelle et porté sur le dessin) : cette vérification s'obtient en pointant sur un des sommets précédents, autre que R, ou sur un des repères, *α* par exemple, bien déterminé des autres stations.

On profitera de tous les moyens de contrôle qui se présenteront; on pourra, notamment, vérifier la déclinaison de la planchette au moyen d'un bon déclinatoire : à cette fin, dès la première station du levé, on trace sur la planchette une méridienne magnétique à l'aide de ce déclinatoire. Cette petite opération se fait comme suit : la planchette étant déclinée sur AB, base du levé, on pose le déclinatoire sur le dessin, on fait tourner le *déclinatoire* sur lui-même jusqu'à ce que la pointe bleue de l'aiguille vienne exactement en face de la division O du limbe et on trace alors une ligne suivant le bord du déclinatoire.

Il arrive que les écrous ne sont pas assez serrés ou que le sol n'est pas assez résistant et qu'on dérange inconsciemment l'orientation de la planchette en dessinant ou en faisant des observations : comme dans les levés par recoupements on trace un grand nombre de directions de la même station, qu'on est, par conséquent, exposé à déranger l'orientation de la planchette, on prendra la précaution de ramener de temps en temps la ligne de visée sur un repère ou de placer le déclinatoire sur la méridienne magnétique.

Voir *Aperçu général des opérations d'un levé,* page 15, et le *Programme du levé à la planchette.*

Conditions de construction et vérifications. — Toutes les pièces de la planchette doivent être en bon état et fonctionner parfaitement : l'alidade demande seule à être vérifiée.

Planchette suisse (Kern et Cie).

Nous avons fait, en 1895, pour le Cabinet de topographie de l'École militaire, l'acquisition d'un matériel *complet* de topographe du Gouvernement Fédéral Suisse. Ce matériel est très perfectionné, nous en donnerions volontiers l'étude détaillée si nous n'étions pressé par le temps. Nous lui faisons le reproche, très sérieux, d'être excessivement pesant. Le bagage d'un topographe suisse, en fait d'instruments seulement, pèse 17 kilogr. de plus que le bagage du topographe belge.

Nous ne pouvons en donner qu'une description sommaire mais le matériel est à la disposition des élèves après la leçon et sur le terrain.



La planchette suisse est reliée à un trépied très lourd par un appareil à vis calantes et à articulation très solide (figure

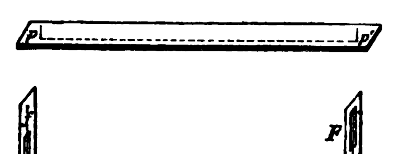
page 147) : les mouvements d'inclinaison sont faciles, les grands mouvements de rotation se font à la main et les petits mouvements au moyen d'une vis de rappel qui permet d'effectuer la déclinaison d'une façon ***absolument correcte;*** les mouvements de translation de la planchette sur la tête du trépied sont impossibles [1].

La *Revue militaire suisse*, dans ses numéros de mars et avril 1894, a publié un petit article fort intéressant intitulé *Quelques mots sur la topographie en Suisse*, par Horace Coulin, ingénieur topographe. Un article du même genre et du même auteur a paru dans *Le Globe*, journal géographique de Genève, septembre 1894, et en une petite brochure, librairie R. Burkhardt, Genève, 1894.

Alidades.

L'alidade, dans sa forme primitive, est une règle plate portant en saillie une ligne de visée *pp'* parallèle à l'un de ses bords.

Puis, l'alidade est devenue une règle métallique aux extrémités de laquelle sont soudées deux lames perpendiculaires à son plan et parallèles entre elles.



Dans l'une de ces lames est pratiquée une fente *f*, contre laquelle s'applique l'œil; dans l'autre, et vis-à-vis à la même hauteur, une fenêtre F, dans le milieu de laquelle est tendu un fil ou un crin. La fente d'une pinnule et la fenêtre de l'autre déterminent un plan de visée.

---

[1]

Suisse :	Boîte renfermant l'alidade, les niveaux, etc.	8,800 k.
	Planchette (moyenne)	4,800 »
	Pied de la planchette moyenne.	9,200 »
	Mire.	4,100 »
	Parasol	4,250 »
		31,150 »
Belgique :	Boussole-éclimètre-stadia	5,750 k.
	Pied de la id.	2,600 »
	Mire.	3,600 »
	Planchette minute et pied	2,250 »
		14,200 »

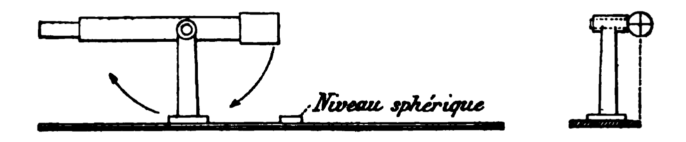
Comme il est utile de viser indifféremment par l'une ou l'autre pinnule, on pratique dans chaque lame une fente et une fenêtre correspondant à une fenêtre et à une fente de la pinnule opposée.

Les fentes et les fils des fenêtres sont dans un plan perpendiculaire à la règle et parallèle à l'un de ses bords *ab*, appelé *ligne de foi* (ou bien dans un plan qui passe par le bord *a'b'*, quand la règle est construite de cette façon).

Les instruments à pinnules sont, on le sait, (voir *Pantomètre*, page 115), des instruments de peu de précision, l'épaisseur du crin et la largeur de la fente engendrant des erreurs angulaires importantes.

La seule alidade qui puisse former de la planchette un instrument de précision est l'alidade à lunette.

Alidade à lunette astronomique. — Une lunette astronomique remplace les pinnules : la lunette est supportée par une



colonne perpendiculaire au plan de la règle et tourne autour d'un axe perpendiculaire au plan vertical passant par la ligne de foi de cette règle.

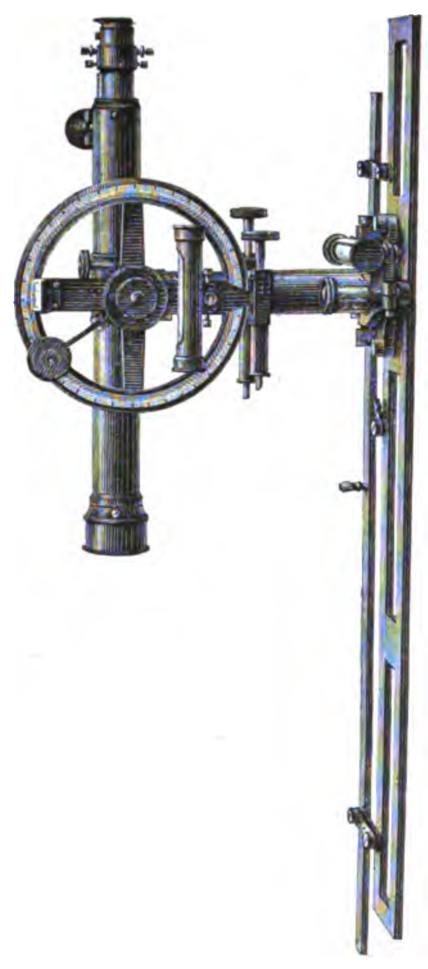
Alidade suisse (Kern et Cie). — C'est une alidade à lunette portant un cercle vertical qui fait de l'instrument un éclimètre (figure page 150). Le réticule de la lunette est un réticule de stadia à fils fixes comme les nôtres ou à fils rectifiables comme celui que nous avons décrit page 66.

Une grande vis de correction verticale, au bas de la colonne, permet d'amener l'axe de la colonne dans un plan vertical en se guidant sur les indications d'un petit niveau perpendiculaire à la règle.

Le niveau parallèle à la règle est le niveau de l'éclimètre. Le vernier de l'éclimètre est pourvu d'une vis de correction horizontale, placée sous le niveau de l'éclimètre.

La lunette peut se mouvoir à la main dans un plan vertical, mais

une vis de rappel, placée à la même hauteur que la vis de correction du vernier, permet d'achever le pointage en hauteur avec beaucoup *de facilité et de correction.*



Un niveau à jambes indépendant s'adapte sur la lunette pour *régler l'instrument* ou pour donner à la lunette la position horizontale.

L'alidade est très pesante et nous paraît d'un maniement assez délicat; nous n'en avons pas fait un essai assez sérieux pour nous prononcer à son sujet.

En Suisse on la trouve fort pratique, comme nous trouvons ici notre boussole-éclimètre-stadia excellente : nous ne conduisons pas du reste nos travaux topographiques de la même façon que les Suisses et partant les comparaisons sont difficiles et sans grande valeur; enfin, les deux pays diffèrent sous beaucoup de rapports.

Condition de construction des alidades à lunette. — Lorsque la règle de l'alidade repose sur un plan horizontal l'axe optique de la lunette, tournant autour de son tourillon, doit décrire un *plan vertical.* Il est désirable aussi, mais pas indispensable, que le plan vertical dans lequel se meut l'axe optique soit celui qui passe par la ligne de foi de la règle.

Pour que cette condition existe, il est nécessaire :

1° *Que l'axe optique de la lunette soit perpendiculaire à l'axe de son tourillon.*

Afin qu'il décrive un plan et non une surface conique :

Vérification. — Disposer horizontalement la planchette au moyen d'un niveau à patin réglé [1]. Placer l'alidade vers le milieu de la planchette.

Choisir *un point* nettement défini à 50 mètres au moins de l'instrument, diriger l'axe optique de la lunette sur ce signal; piquer deux fines aiguilles de même diamètre contre le biseau (ligne de foi) de la règle, vers les extrémités de celle-ci; s'assurer de ce que la règle est en contact avec les aiguilles et rectifier ensuite le pointage, à l'aide de la planchette si c'est nécessaire (en desserrant l'écrou *e'* de la planchette Goulier, au moyen de la vis de rappel du mécanisme de la planchette suisse). Faire faire une demi-révolution à la lunette (amener l'objectif vers soi); soulever et retourner l'alidade bout pour bout; appuyer le biseau de la règle *contre* les aiguilles (à droite des aiguilles si dans la première position la règle était à gauche de celles-ci). Diriger la lunette sur le signal : *la croisée des fils diamètres doit encore couvrir parfaitement ce signal.*

Correction. — Si l'axe optique ne passe pas exactement par le signal, l'erreur ayant été doublée par le retournement, déplacer la croisée des fils du réticule, au moyen des vis latérales du châssis du réticule, de la moitié de l'écart observé. Recommencer une ou deux fois *toutes* les opérations.

Si l'erreur était telle qu'on ne parvînt pas à effectuer la correction, ce serait une preuve de ce que l'alidade est très mal construite ou faussée : on rejetterait l'instrument ou bien on le ferait réparer.

2° *Que l'axe du tourillon de la lunette soit horizontal lorsque l'alidade repose sur un plan horizontal.*

Vérification. — Tendre un fil à plomb, de 5 à 6 mètres de

---

[1] Il faut une planchette parfaitement plane. Le petit niveau sphérique encastré dans l'alidade n'offre pas assez de garanties; l'opération servira, du reste, à vérifier ce niveau.



long, à 25 ou 30 mètres, la masse du fil à plomb étant plongée dans un baquet d'eau. — Choisir une planchette parfaitement plane, la disposer horizontalement à l'aide d'un bon niveau à patin ; placer l'alidade vers le milieu de la planchette et diriger l'axe optique de la lunette sur le fil à plomb, imprimer un mouvement plongeant à la lunette : ***la croisée des fils diamètres du réticule doit rester constamment sur le fil à plomb.***

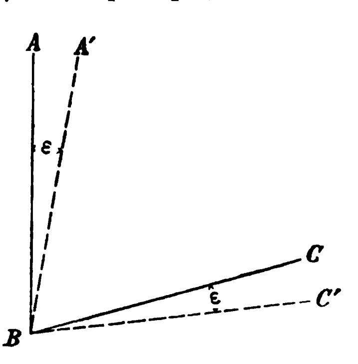
Si la croisée des fils s'écarte du fil à plomb, rejeter l'instrument, à moins que le constructeur n'ait ménagé un moyen de correction, comme à l'alidade suisse. En général, les alidades ne sont pas pourvues de moyens de corrections ***convenables.*** Si la lunette ne se meut pas dans un plan vertical, ce défaut, comme nous l'avons vu à propos du théodolite, donnera naissance à des erreurs ***variables.***

Correction. — L'alidade suisse possède, « au pied de la » grande colonne verticale, une forte vis de rappel verticale, » pressant sur un ressort très résistant qui se trouve dans » l'intérieur de la colonne. Cette vis de rappel et le dit ressort » servent à changer la position verticale de la colonne On » manœuvre cette vis de rappel de façon que le fil vertical de » la lunette suive continuellement un fil à plomb le plus long » possible, tendu disons à 30 mètres de distance. On corrige » ensuite le petit niveau (en tournant les écrous du niveau à » l'aide d'une aiguille) de façon à faire osciller la bulle de ce » niveau au milieu de la fiole, quand le fil vertical de la lunette » suit le fil à plomb. Ce petit niveau, une fois corrigé, conserve » sa bonne position et sera dans toutes les positions de la » planche, l'***indicateur de la verticalité de la colonne,*** c'est-à-» dire du mouvement de la lunette que l'on rend rapidement » ***vertical*** à l'aide de ce niveau et au moyen de la grande vis de » rappel verticale du pied de la colonne. La ligne de visée se » meut alors dans un plan vertical. »

Ce dispositif de l'alidade suisse contitue un ***grand perfectionnement*** parce qu'il permet d'éviter les fautes d'opérations qui résultent d'une position non horizontale ***de la partie*** de la planchette qui sert de support à l'alidade-éclimètre, défaut d'horizontalité produit par un défaut de mise en station ou par

les changements de position de l'alidade sur la planchette : la surface de la planchette n'est en effet jamais rigoureusement plane ; la mise horizontale n'est jamais parfaite et ne se maintient pas ; les appuis du dessinateur, le tassement du sol, le poids de l'alidade dont l'action se fait sentir à des endroits différents, etc., dérangent l'instrument.

A la rigueur, la seconde vérification seule suffit, du moment que l'on s'astreint, *ce que l'on fait en pratique,* à tourner toujours l'objectif de la lunette du côté du bout le plus long de la règle.



Il n'est pas nécessaire que le plan de collimation passe par la ligne de foi de l'alidade : si le plan *vertical* décrit par l'axe de la lunette ne se confond pas avec le plan vertical passant par la ligne de foi de la règle il fera avec celui-ci un angle ε.

L'erreur sur A sera ε, l'erreur sur C sera ε également

$$A'BC' = ABC.$$

Il existe des moyens mécaniques peu précis pour vérifier si la coïncidence du plan optique avec le plan vertical passant par la ligne de foi existe; nous ne les donnerons pas, vu que cette vérification est inutile. On se bornera à corriger l'orientation générale du plan au moyen du déclinatoire ; à moins que la méridienne ait été tracée sur le terrain et levée au moyen de l'alidade elle-même, dans ce cas, il n'y a pas lieu de faire la moindre correction.

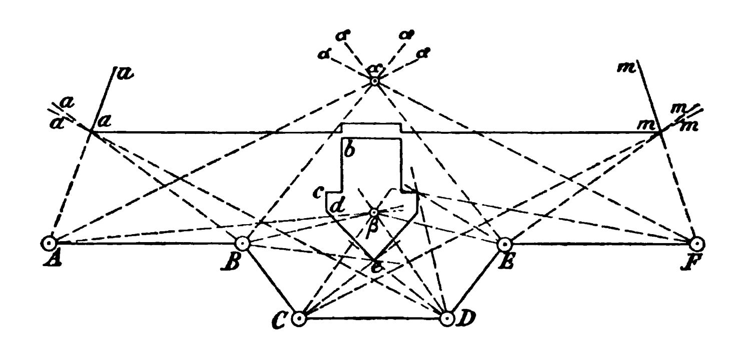
Levé à la planchette.

On peut procéder par cheminement, par rayonnements et par intersections ou recoupements (voir *Généralités sur les levés,* page 15 et page 144).

Remarque. — **La planchette convient surtout pour les levés par intersections. Si on l'emploie pour des levés par cheminement, il faut avoir soin de rechercher des points de repère *très éloignés*, dont un au moins soit vu de chaque sommet du canevas, pour que l'orientation se fasse avec toute la précision désirable. Même avec des planchettes à supports perfectionnés, telle que la planchette Goulier, si les côtés sur lesquels on décline l'instrument n'ont pas une longueur satisfaisante, les opérations manqueront de précision.**

Dans les opérations par cheminement à la planchette il sera prudent, si pas absolument nécessaire, du moins pour le canevas du levé, d'emporter avec soi un bon déclinatoire ou mieux encore de prendre une planchette munie d'un déclinatoire fixe. On vérifiera l'orientation directe par le déclinatoire et réciproquement.

Lorsqu'on fait un levé par intersections, il faut avoir soin de désigner, par des lettres, les différentes lignes de visée (lettres du sommet de station et du signal pointé), sinon on risque de confondre les lignes et les intersections.



On fait une reconnaissance et un croquis, comme pour tout levé; on choisit une base, en ligne droite de préférence; on donne des noms à ses sommets ABC..., et aux points à lever par recoupements *a, b, c, d, e*..., ainsi qu'aux repères α, β, γ... que l'on a choisis.

On dresse un tableau qui résume les visées à faire à chaque station de la base, afin de n'en pas oublier.

POINTS DE STATION	POINTS A VISER	OBSERVATIONS ET REPÈREMENTS

On tient note de ces visées dans un carnet, et, pendant les opérations, on suit les indications du carnet et l'on inscrit au crayon, sur chaque ligne tracée sur la planchette, le sommet qu'elle a pour objet de déterminer ou le repère par lequel elle doit passer (voir *Programme du levé à la planchette*, 1891).

La planchette donne fort exactement *sur le papier* les angles observés; c'est l'instrument par excellence pour les levés par intersections; elle est très rapide.

Elle convient moins pour les opérations d'un levé par cheminement; nous l'employons pour lever des fortifications dans l'intérieur desquelles on ne peut pénétrer, ou dont l'accès de certains points est difficile ou dangereux, et pour des levés expédiés.

Inconvénients de la planchette.

Le plus grave, c'est que les opérations ne laissent d'autres traces que les lignes du dessin; si le dessin est détruit accidentellement, impossible de le rétablir autrement qu'en recommençant toutes les opérations.

Puis, on ne peut travailler par la pluie, les brouillards, l'humidité : le papier se boursoufle, se détend, se déforme, devient collant, se salit, se déchire .... C'est un instrument d'un usage

à peu près impossible en Belgique où le climat est si variable et les pluies si fréquentes : on risque, après huit jours passés sur le terrain, de rentrer sans avoir tracé une ligne sur la planchette.

C'est aussi un instrument incomplet; il ne donne pas les angles verticaux, ni les distances : il est aisé de faire de la lunette une stadia, mais il est moins *pratique* d'en faire un éclimètre.

Le colonel *Goulier* a complété sa planchette en inventant sa *règle éclimètre*, nous en avons dit un mot page 72 : un dispositif spécial en fait un éclimètre dont la précision laisse trop à désirer.

Les Suisses, pour le levé de leurs cartes, font usage d'une excellente alidade-*éclimètre*-stadia, mais cette alidade et la planchette qui lui sert de support sont nécessairement très lourdes; le bagage instruments du topographe suisse pèse 17 kilos de plus que le bagage du topographe belge. Le matériel suisse ne donnerait certainement pas d'aussi bons résultats, en Belgique, que le matériel que notre Institut cartographique militaire emploie avec tant de succès depuis 40 ans. Au Congo, ce serait peut-être différent; le climat n'est pas le même qu'en Belgique d'abord, puis *la planchette permet d'exécuter une très bonne et très rapide triangulation, ce qui est impossible au moyen de la boussole*. C'est au point de vue des levés à exécuter au Congo, que nous avons donnés le matériel suisse : L'emploi de l'aluminium permettrait sans doute de rendre ce matériel plus léger.

Problèmes à la planchette.

I. Déterminer la position d'un point situé en mer, à l'aide d'une base prise sur la côte. Un des bateaux-phares de la mer du Nord, par exemple, en se servant d'une planchette de la carte au 20,000ᵉ ou d'une feuille au 40,000ᵉ.

II. Déterminer l'emplacement exact d'une batterie de l'assiégeant. On possède des cartes, comme pour le problème précédent.

III. Déterminer la longueur d'une droite inaccessible.

IV. Lever, d'une rive, la rive opposée d'un fleuve.

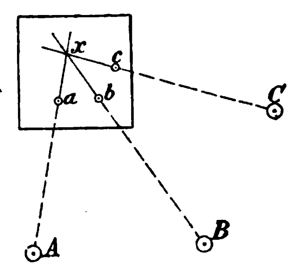
V. Orienter un levé fait à la planchette (l'azimut d'une des

lignes étant connu, ou bien au moyen d'une méridienne tracée sur le terrain, ou bien encore au moyen d'un déclinatoire).

VI. Prolonger un alignement au delà d'un couvert

VII. Déterminer ***sur le terrain*** accessible la position d'un point x marqué sur un plan.

VIII. La planchette étant munie d'un déclinatoire, lever un point x sur lequel on stationne au moyen d'observations faites sur deux ou trois autres points ***a, b, c,*** déjà levés et visibles de la station x. (Recoupements en arrière.)



Mettre la planchette en station en x, la décliner à l'aide du déclinatoire et de la méridienne magnétique ***tracée au préalable au début des opérations sur la planchette.***

Piquer des aiguilles en ***a, b, c.*** Placer la ligne de foi de l'alidade contre l'aiguille ***a*** et faire pivoter l'alidade autour de ***a*** jusqu'à ce que l'axe optique de la lunette passe par le signal A; tracer ***ax.*** Agir de même sur B et sur C.

CHAPITRE II.

Nivellement.

Le nivellement ou altimétrie a pour but de déterminer les cotes ou altitudes des différents points d'un pays au-dessus d'une surface de comparaison : c'est une application de la géométrie des plans cotés.

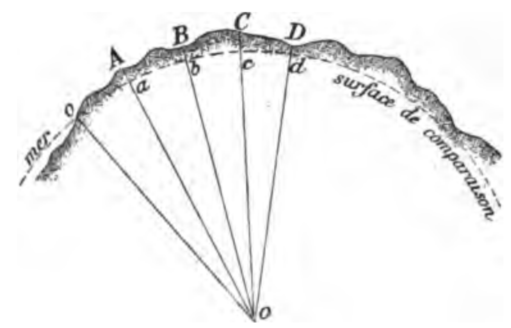
La surface de comparaison, adoptée pour le nivellement de la Belgique, est la surface sphérique passant par le niveau moyen des basses mers, à l'époque des syzygies, à l'écluse du port de commerce à Ostende [1].

---

[1] Voir 1re Partie, page 74.

On a choisi cette surface de comparaison pour éviter les cotes négatives : elle passe, en effet, sous les points les plus bas du territoire belge.

Les cotes ou altitudes des points A, B, C, D, E, ..., sont donc les hauteurs verticales A*a*, B*b*, C*c*, D*d*, E*e*, ..., exprimées en mètres.



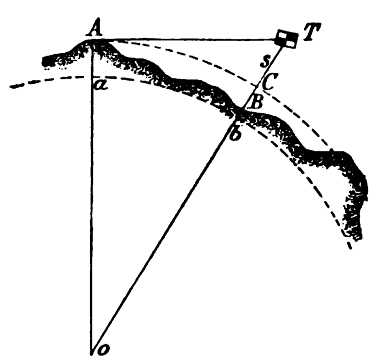
La différence de niveau, ***dn***, entre deux points A et B, B et C, etc., est la différence des cotes ou altitudes de ces points.

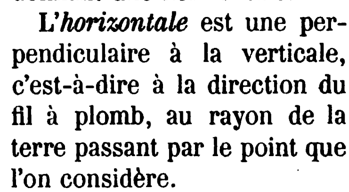
$$dn = \text{cote B} - \text{cote A} = Bb - Aa.$$

Connaissant la cote d'un point A et la différence de niveau ***dn*** de ce point avec un autre point B, on obtient la cote de B par la relation

$$\text{cote B} = \text{cote A} \pm dn.$$

Le topographe obtient la différence de niveau entre deux





points à l'aide d'instruments donnant une horizontale.

L'***horizontale*** est une perpendiculaire à la verticale, c'est-à-dire à la direction du fil à plomb, au rayon de la terre passant par le point que l'on considère.

On place l'instrument au point A dont on connaît la cote A*a*, on le dirige vers une mire tenue verticalement en B

et l'on fait amener la ligne de foi du voyant de cette mire sur l'horizontale AT donnée par l'instrument. (Nous verrons bientôt qu'en pratique on n'opère pas absolument ainsi.)

BT n'est que la différence de niveau *apparente*, indiquée par l'instrument, en réalité la différence de niveau *vraie* est BC.

En opérant de cette façon, on commet donc une erreur égale à

$$BT - BC = CT = s.$$

Cette erreur, provenant de la sphéricité de la terre, se nomme, pour ce motif, *erreur de sphéricité.*

Les hauteurs de mire *lues* doivent donc être diminuées de l'erreur de sphéricité : la hauteur de mire étant m, l'erreur de sphéricité s,

$$dn = m - s.$$

Calcul de l'erreur de sphéricité. — Supposons, pour plus de simplicité, que les points A et B, dont on cherche la différence de niveau, sont au même niveau.

Dans l'hypothèse, $dn = o$.

Or, l'instrument donnant l'horizontale en A, indique une différence de niveau BT.

BT est donc l'erreur de sphéricité s.

La Géométrie nous donne :

$$\overline{AT}^2 = MT \times BT = (2R + BT)BT,$$

d'où
$$BT = \frac{\overline{AT}^2}{2R + BT}.$$

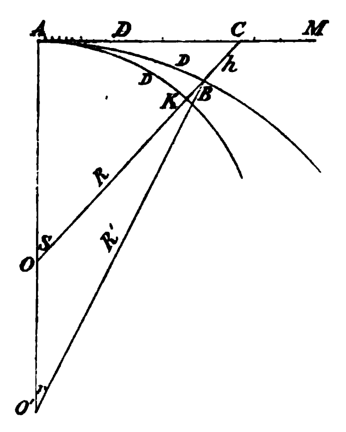
BT est infiniment petit par rapport au diamètre de la terre, dont le rayon moyen en Belgique est R = 6366198 mètres.

On peut donc écrire $BT = \frac{\overline{AT}^2}{2R}$ ou $s = \frac{D^2}{2R}$.

Erreur de réfraction. — Cette erreur, comme nous allons le

voir, ne peut être mathématiquement calculée et les opinions à son sujet sont assez discordantes : notre but n'étant pas de creuser à fond cette question, mais de conclure qu'il faut adopter dans la pratique une méthode déterminée de nivellement, nous citons Durand-Claye (*Lever des plans*, 1889).

« *Réfraction atmosphérique*. Les cotes de nivellement doivent » subir une autre correction, qui malheureusement n'est pas » susceptible d'être calculée. C'est celle qui a pour objet de » détruire les effets de la réfraction atmosphérique.



» Soit A un niveau et KC une » mire, placée sur un point » dont la distance au niveau est » D, et tenue suivant la verticale OK.

» Par suite de la réfraction au » passage des couches successives de l'atmosphère dont la » densité est variable, les rayons » lumineux ne suivent pas des » lignes droites, et l'œil, visant » horizontalement en A, ne voit » pas le point C de la mire situé dans le plan horizontal AM, » mais un point B placé sur une courbe AB, à une hauteur *h* » *au-dessus* ou *au-dessous* de C.

» On admet, et le calcul démontre, que AB est un arc de » cercle. Si l'on désigne par R′ le rayon de ce cercle, on a, en » négligeant les quantités qui peuvent être considérées comme » infiniment petites par rapport à ce rayon et à celui de la terre, » $D^2 = 2R'h$, et, en appelant r l'angle au centre, $D = R'r$. » D'autre part, R étant le rayon de la terre et s l'angle au centre » de la terre : $D = Rs$. On déduit de là

$$h = \frac{r}{s} \times \frac{D^2}{2R}.$$

» *Babinet* a établi la formule suivante, qui peut servir à

» calculer le rapport $\frac{r}{s}$, selon les circonstances atmosphériques :

$$\frac{r}{s} = \frac{B}{760} \times \frac{1}{(1 + \alpha t)} \left(0,2345 - \frac{M}{6,867}\right).$$

» B représente la pression barométrique en millimètres ;
» α est le coefficient de dilatation de l'air, qui peut être pris
» égal à $\frac{11}{3000}$;
» t est la température moyenne, en degrés centigrades, de
» la couche d'air traversée ;
» M est le nombre de mètres dont il faudrait s'élever dans
» l'air pour que la température s'abaissât de 1 degré, si la
» décroissance était uniforme ; en d'autres termes, c'est la
» valeur du rapport $\frac{da}{d\theta}$, a étant la hauteur du rayon de visée
» dans une atmosphère dont la température θ est variable.
» Cette correction, comme celle du niveau vrai, est propor-
» tionnelle à $\frac{\overline{D}^2}{2R}$. Elle s'en retranche algébriquement, car si $\frac{r}{s}$
» est positif, *comme le suppose la figure,* la réfraction fait lire
» une cote trop faible. Mais $\frac{r}{s}$ n'est positif que si M est > 29 mètres ;
» il est nul pour M = 29 m., et négatif quand M est plus petit.
» Il est à remarquer que, dans les couches atmosphériques
» qui avoisinent le sol, les variations de température sont
» rapides, et que $\frac{r}{s}$ doit souvent être négatif, auquel cas les
» rayons réfractés *présentent leur convexité à la terre, contrai-*
» *rement à ce qui est indiqué par la plupart des auteurs* [1].
» Il doit aussi arriver fréquemment que M ou $\frac{da}{d\theta}$ soit négatif

[1] Les constatations réitérées que nous avons faites pendant nos exercices pratiques à l'École militaire sont très concluantes : nous sommes d'accord avec l'auteur du *Lever des plans et nivellement*.

Des *Tables pour faciliter le calcul des différences de niveau*, en usage

» quand le sol est plus froid que l'atmosphère, et alors la réfrac-
» tion devient considérable

» On se sert quelquefois du nombre + 0,16 comme valeur » moyenne de $\frac{r}{s}$. Mais cette moyenne se trouve presque toujours » éloignée de la vérité.

» On pourrait à la rigueur calculer la correction, si $\frac{da}{d\theta}$ était » constant, en faisant des observations thermométriques. Mais, » outre la complication qui résulterait de semblables observa- » tions, la température varie rarement avec l'altitude suivant » une loi aussi simple, et si la fonction se complique, on est » conduit à des calculs pour ainsi dire inextricables.

» En se mettant à la même distance des deux points, on a » *chance* que les erreurs de réfraction se compensent. Il n'en » est pas toujours ainsi toutefois dans les terrains fortement » inclinés, où le plan de visée rencontre une des mires près du » sol et l'autre à 3 ou 4 mètres de hauteur. Si les couches » d'air se disposent parallèlement au sol, dans l'ordre de leur » densité, le premier rayon sera plus réfracté que le second. » Toutefois, les cas où la différence est notable sont excessi- » vement rares, et l'on admet que l'égalité des distances conduit » à une compensation suffisante. »

Conclusion pratique. — L'erreur due à la réfraction atmosphérique est non seulement variable dans le même sens, mais tantôt positive tantôt négative; cette erreur ne peut être calculée par le topographe qui n'en a ni le temps ni les moyens; le topo-

---

jadis au Dépôt de la guerre, sont construites en prenant pour base les hypothèses inacceptables suivantes : 1° L'erreur de sphéricité et l'erreur de réfraction sont de signes différents; 2° La valeur moyenne de l'erreur de réfraction est $r = 0{,}08\,\frac{D^2}{R}$.

De sorte que si l'on appelle ε la somme algébrique des deux erreurs

$$\varepsilon = s - r = \frac{D^2}{2R} - 0{,}08\,\frac{D^2}{R} = 0{,}42\,\frac{D^2}{R}$$

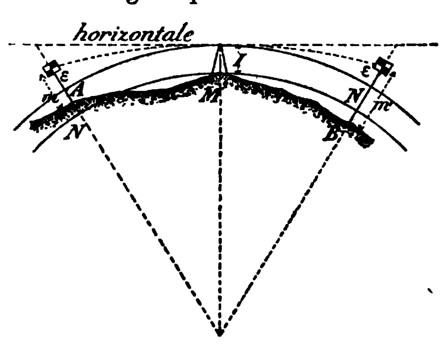
R = 6376900 mètres dans ces tables.

graphe devra donc faire usage d'une *méthode* de nivellement qui atténue ou élimine les erreurs sans calculs.

Cette méthode consistera, comme nous allons le voir, à placer l'instrument à égale distance des points dont on cherche la différence de niveau. On emploiera *la méthode depuis le milieu*.

Méthode depuis le milieu. — Les points A et B étant *à égale distance* [1] de l'instrument donnant l'horizontale, *s*, l'erreur de sphéricité, sera identique, soit que l'on pointe sur A, soit que l'on pointe sur B; les rayons lumineux venant de A et de B, traversant, dans la plupart des cas, des couches d'air *sensiblement* de même densité, $\pm$ *r*, l'erreur de réfraction, pourra être considérée comme identique également.

Soit, $\varepsilon = (s \pm r)$, la somme algébrique des deux erreurs affectant la hauteur de mire pour chaque nivelée, (—*r* dans la figure).



Si nous désignons par I la hauteur au-dessus du point M de l'horizontale de l'instrument, par *m* et *m'* les hauteurs de mire lues en A et en B, nous aurons :

$$\text{cote A} = \text{cote M} + \text{AN} = \text{cote M} + \text{I} + \varepsilon - m$$
$$\text{cote B} = \text{cote M} - \text{NB} = \text{cote M} - (m' - \text{I} - \varepsilon).$$

$$\text{cote A} - \text{cote B} = m' - m.$$
$$dn = m' - m.$$

C'est-à-dire que la différence de niveau entre les deux points A et B est égale, *sans correction*, à la différence des hauteurs de mire *lues*.

[1] L'instrument est à égale distance et non pas nécessairement au milieu de la ligne qui unit les points A et B.



Remarque. — Cote M, I et ε sont éliminées du calcul [1].

La méthode dite *depuis le milieu*, la seule en usage pour les nivellements de précision, élimine non seulement les erreurs dues à la sphéricité de la terre et à la réfraction atmosphérique, mais encore la plupart des erreurs provenant des imperfections des instruments, comme nous le verrons dans la suite.

Pratique du nivellement.

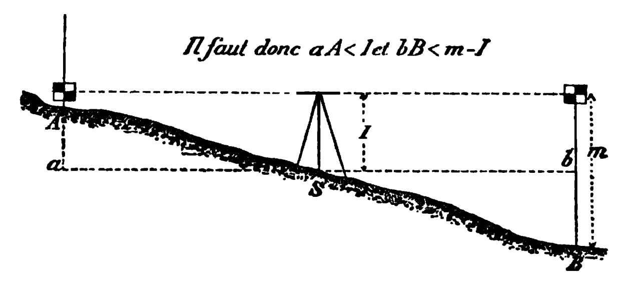
Chaque fois que d'une *seule station* on peut déterminer la différence de niveau de deux points, on opère par *nivellement simple*.

Si plus de deux points peuvent être nivelés de la même station, l'opération porte le nom de *nivellement par rayonnement*.

Il faut, pour que l'on puisse procéder par nivellement simple ou par nivellement par rayonnement :

1° Que la distance qui sépare les deux points à niveler du point de station, ne soit pas trop considérable : cette distance varie avec la portée des instruments, elle est de 30 à 40 mètres pour le niveau à collimateur, d'une centaine de mètres pour les bons niveaux à lunette.

2° Que la différence de niveau entre la station S et chacun des points à niveler, ne soit pas plus grande en montant que la



hauteur de l'horizontale au-dessus du point de station, ni plus grande en descendant que la hauteur maxima de la mire diminuée de la hauteur de l'horizontale au point de station.

---

[1] Il importe d'éliminer I, difficile à mesurer exactement.



Sans cela l'horizontale fichera dans le sol en avant de la mire, ou passera au-dessus de la mire.

Pour opérer par rayonnement, il faut, de plus, qu'il soit possible de trouver un point de station sensiblement à la même distance de tous les points à niveler.

On n'emploie pas le rayonnement dans un nivellement de précision, car il faut, pour éliminer les erreurs de sphéricité et de réfraction, ainsi que certaines erreurs dues aux imperfections des instruments, que l'on soit exactement à égale distance des points dont on cherche la différence de niveau.

Le nivellement par rayonnement est beaucoup plus rapide ; on l'emploie pour niveler les détails, pour déterminer des cotes du terrain en vue du tracé des courbes de niveau, etc.

Nivellement simple. Nous le connaissons : on établit l'instrument en station à égale distance des points A et B, on lit les hauteurs de mire m et m' sur A et sur B.

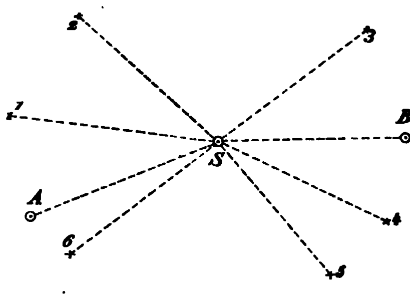
$$\pm\, dn = m - m'$$

On ajoute $\pm\, dn$ à la cote connue de A pour avoir la cote de B.

$$\text{Cote de B} = \text{cote de A} \pm dn.$$

(Voyez le registre page 169.)

Nivellement par rayonnement. Il se fait identiquement comme le nivellement simple. On opère pour les points 1, 2, 3, ..., comme on a opéré pour B, en partant toujours de la cote *connue* de A.



Cote B = cote A $\pm\, dn_b$
Cote 1 = cote A $\pm\, dn_1$
Cote 2 = cote A $\pm\, dn_2$
Cote 3 = cote A $\pm\, dn_3$

On tient note des résultats des opérations dans un registre tracé de la façon suivante :

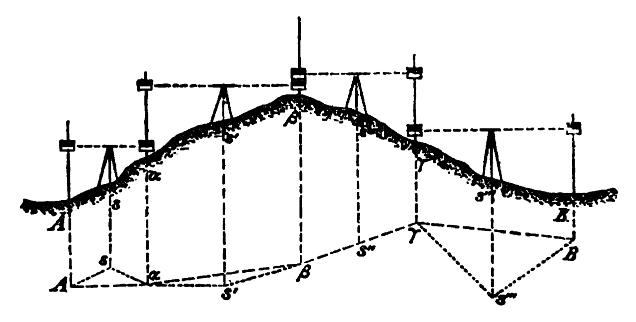
INDICATION DES POINTS.	HAUTEURS DE MIRE.	DIFFÉRENCES DE NIVEAU.		COTES DÉDUITES.	OBSERVATIONS.
		+	—		
G	1.348	»	»	*78.032*	(La cote de G, point du polygone, est connue).
21	0.502	0,846	»	78.878	G, 5e borne de la chaussée de ... à ....
22	1.906	»	0.558	77.474	
23	0.240	1.108	»	79.140	
24	2.315	»	0.967	77.065	
»	»	»	»	»	
r	0.372	»	»	*81.239*	(La cote de *r*, point d'une traverse, est connue).
25	3.375	»	3.003	78.236	*r*, seuil de la chapelle Ste Suzanne, chemin pavé de ... à ....

Nivellement composé. — Si la distance entre deux points à niveler ou leur différence de niveau est trop grande, ou bien encore si des mouvements de terrain ou des couverts existent entre eux, tels qu'on ne puisse les apercevoir d'une seule station, on a recours au nivellement composé.

Le nivellement composé consiste à déterminer les cotes de points intermédiaires, par des nivellements simples, pour relier entre eux les deux points principaux voisins.

Chaque nivellement simple se rattache à celui qui le précède par un *coup d'arrière* et à celui qui le suit par un *coup d'avant*.

Le cheminement A, α, β, γ, B ne doit pas nécessairement être en ligne droite, l'art consiste à choisir les points intermé-



diaires de façon à avoir le plus petit nombre de *stations* intermédiaires : le cheminement sera donc le plus court possible tout en passant par des points dont la différence de niveau soit la moins grande possible également.

Nivellement par cheminement. — Lorsqu'on lève un polygone de nivellement, on détermine successivement les cotes de chacun de ses sommets : on fait un nivellement par cheminement.

Un nivellement par cheminement comprendra généralement des nivellements simples et des nivellements composés.

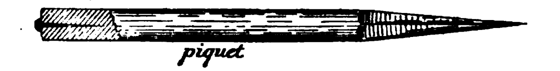
Si c'est un polygone de base, ou même une traverse du canevas, on procède par *double lecture* de hauteurs de mire sur chaque point et l'on prend la moyenne des deux hauteurs de mire lues.

Voyez *méthode générale de nivellement,* à la suite du *Niveau Lenoir*.



La page 169 donne un modèle de carnet d'inscriptions pour le nivellement par cheminement d'un polygone de base A, B, C, D.... Les lettres grecques α, β..., désignent les points intermédiaires des nivellements composés.

Dans un nivellement de précision, on enfonce, à coups de maillet jusqu'à refus, à chaque sommet (principal ou intermédiaire,

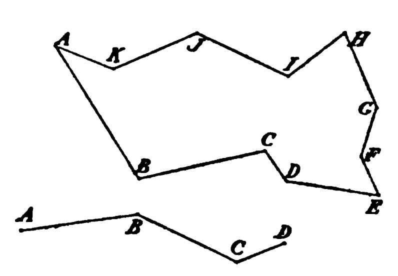


choisi entre les *repères* établis sur des maçonneries), un piquet de 25 à 30 centimètres de longueur, dans la tête duquel on enfonce un gros clou à tête arrondie qui servira de support à la mire.

Pour notre *Nivellement général* on ne s'est pas servi de piquets : « Quand on opère, la mire repose sur une petite plaque en fer de fonte que l'on fixe sur le sol ; un bouton, adapté au talon de la mire, entre dans une gaîne pratiquée au centre de la plaque, ce qui permet de retourner la mire sans la changer de position. » Lieut. colonel d'état major Henrionet, *Notice sur les travaux topographiques exécutés au Dépôt de la Guerre de Belgique*. La lecture de cette *Notice*, dont les exemplaires sont fort rares, est très intéressante et surtout fort utile pour tous ceux qui s'occupent de travaux topographiques ; elle entre dans tous les détails d'exécution, c'est de la *mise en pratique* que l'on cherche d'habitude vainement dans les *traités* et que l'on n'acquiert généralement que par des expériences personnelles fort longues et souvent bien pénibles.

INDICATION DES POINTS.	HAUTEURS DE MIRE.				DIFFÉRENCES DE NIVEAU.		COTES.		OBSERVATIONS.
	COUPS D'ARRIÈRE.		COUPS D'AVANT.						
	Doubles lectures.	Lectures moyennes.	Doubles lectures.	Lectures moyennes.	Positives.	Négatives.	Déduites.	Compensées.	
A							100,000	100,000	A, seuil de l'église de X.
A	0,364	0,364	0,253	0,254	0,110	»	100,110	100,111	B, au-dessus de la borne 5 de la route de ... à ...
B	0,365		0,255						
B	0,713	0,715	0,510	0,512	0,203	»	100,313	»	
α	0,717		0,514						
α	0,208	0,209	2,435	2,436	»	2,227	98,086	»	(Croquis complètant le texte et représentant exactement la position de la mire, à l'endroit indiqué.)
β	0,210		2,438						
β	0,250	0,251	0,938	0,939	»	0,688	97,398	97,401	C, ponceau sur ..., milieu de la pierre de taille de l'accotement ouest.
C	0,252		0,941						
C	0,981	0,982	1,206	1,207	»	0,225	97,173	»	
γ	0,982		1,208						
γ	2,603	2,604	0,300	0,301	2,303	»	99,476	99,481	D, seuil de la porte principale de la maison communale de ....
D	2,605		0,301						
		5,125		5,649	2,616	3,140	+0,524		
Vérifications :			—	0,524	—	0,524	100,000		

Un polygone de nivellement doit être fermé, c'est-à-dire que l'on doit finir par un ***coup d'avant*** sur le point de départ.



Si le polygone se réduisait à une ligne brisée ABCD, arrivé au point extrême D, on reviendrait, en prenant pour cote de départ la cote trouvée pour D, par un cheminement en sens inverse sur le point de départ A.

La fermeture n'est jamais rigoureusement exacte, c'est-à-dire que la cote trouvée pour A, par le dernier coup d'avant, diffère toujours quelque peu de la cote A de départ. Si la différence est admissible (cela dépend de l'instrument), on la répartit également sur tous les sommets.

La cote corrigée (ou cote compensée) est la cote définitive que l'on adopte.

Exemple. — La cote de départ A est 100ᵐ000; la cote de fermerture est 100ᵐ011; il y a 10 sommets B,C, ... I,K : on diminue la cote trouvée pour B de 1 millimètre, celle de C de 2 millimètres, ... celle de K de 10 millimètres.

Instruments de nivellement.

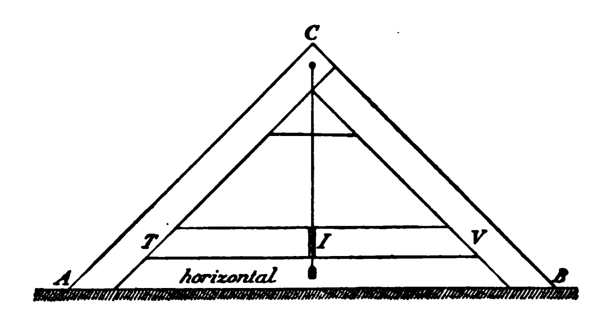
Niveau de maçon. — Cet instrument ne convient que pour niveler des points très voisins l'un de l'autre; il est particulièrement employé dans la construction et dans le levé des bâtiments et des fortifications.

Il se trouve entre les mains de tous les hommes de métier, il est très facile à construire et par conséquent pratique en certaines circonstances et à défaut d'instruments d'une plus grande précision.

Le niveau de maçon est formé d'une équerre isocèle en bois ABC, dont les branches sont réunies par une traverse TV propre à maintenir leur écartement et à consolider le système.

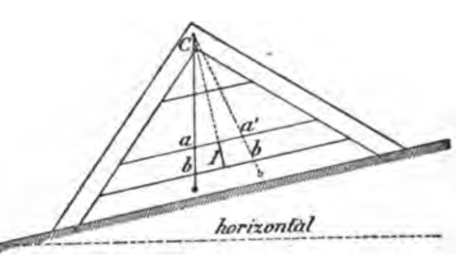
Lorsque les pieds A et B reposent sur un appui ***horizontal,***

un fil à plomb, suspendu au sommet C, doit battre sur la ligne de foi I, marquée sur la traverse.



Vérification. — Pour s'assurer de ce que le trait I est bien placé, on pose le niveau sur un support, que l'on soulève d'un côté s'il le faut jusqu'à ce que le fil vienne battre le trait ; puis, le support restant fixe, on retourne exactement le niveau bout pour bout (on substitue un pied de l'équerre à l'autre sur le support) : Le fil doit encore battre le trait I.

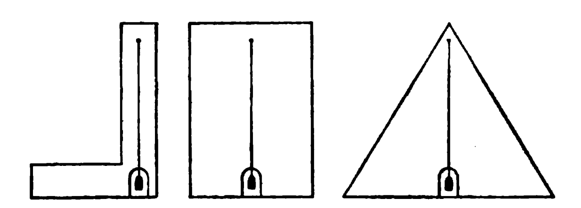
Il faut prendre la précaution de marquer au crayon les emplacements occupés par les supports du niveau dans la première position, afin d'opérer exactement le retournement.



S'il s'agissait de déterminer la ligne de foi I, sur la traverse d'un niveau que l'on vient de construire, on placerait l'équerre sur un plan légèrement incliné, on marquerait l'emplacement des pieds sur le plan et la ligne *ab* sur laquelle viendrait battre le fil à plomb ; puis, on retournerait l'équerre bout pour bout, substituant exactement un pied à l'autre, on tracerait *a'b'* suivant la nouvelle position du fil à plomb : I serait la bissectrice de l'angle *a*C*a'*.

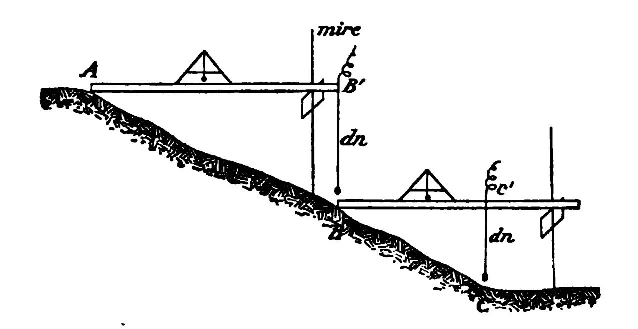
Parfois le niveau de maçon est une planche triangulaire ou

rectangulaire, ou deux planchettes assemblées à angle droit, reposant sur un de ses côtés comme support. Ce côté support doit être, dans ce cas, une surface bien plane. Il en est rarement ainsi, le bois travaille sous l'action de l'humidité et de la chaleur, se déforme par les chocs, se couvre de matériaux.... Ce sont de mauvais niveaux qu'emploient seuls les maçons.



Un petit logement creusé dans la planchette reçoit la balle de plomb et permet au fil de battre la ligne de foi.

Nivellement. — Pour déterminer la différence de niveau entre deux points A et B, on place au point A l'extrémité d'une



règle bien droite, on rend la règle horizontale au moyen du niveau de maçon et l'on mesure BB'. Si les deux points à niveler sont distants de plus d'une règle, on recommence l'opération en B.

On soutient le bout d'avant de la règle au moyen d'une mire, d'une autre règle et de la main, d'un appui quelconque.

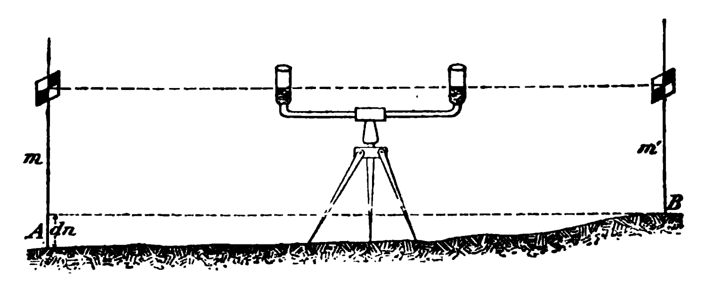
Niveau d'eau.

Cet ancien niveau est formé d'un tube en fer blanc, d'un mètre environ de longueur et de trois ou quatre centimètres de diamètre, recourbé à angle droit aux deux bouts pour y recevoir deux fioles de verre de même diamètre. Une douille, soudée au milieu de sa longueur, permet de le fixer sur un trépied.

Le tube étant horizontal à vue, on y verse de l'eau claire, ou légèrement colorée, jusqu'à ce que le liquide s'élève à peu près à moitié de la hauteur des fioles.

D'après les lois de l'hydrostatique, les surfaces du liquide dans les vases communiquants sont au même niveau et le rayon visuel passant par les ménisques des deux fioles est horizontal.

Nivellement. — On place l'instrument en station à égale distance des points à niveler, le tube horizontal à vue, on y



verse de l'eau. Se plaçant à un mètre environ en arrière de l'une des fioles, on fait amener la ligne de foi du voyant d'une mire, placée successivement en A et en B, sur le rayon visuel passant par les ménisques des fioles

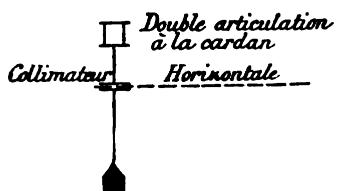
$$dn = m - m'.$$

Précision. — A 30 ou 40 mètres, si l'on a une bonne vue, de l'habitude, et si l'on prend les précautions nécessaires, on obtiendra les cotes à 2 centimètres près.

C'est un instrument incommode, peu rapide, encombrant, fragile, mais dont l'usage, à cause de son faible prix de revient et de son maniement *relativement* facile pour les gens peu instruits, est encore très répandu.

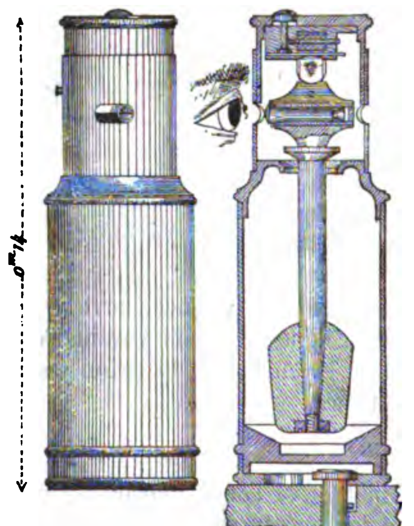
Niveau à collimateur de Goulier.

Principe. — La tige d'un pendule librement suspendu, prend, après un certain nombre d'oscillations, la direction de la verticale. Une perpendiculaire à la verticale est une horizontale.



Description sommaire. (Voir l'instrument). — Le niveau à collimateur est formé d'un pendule métallique, terminé par une masse, et suspendu dans une boîte cylindrique par une double articulation à la cardan.

Le niveau se fixe, au moyen d'un trou pratiqué dans la base inférieure de son enveloppe, sur la tête d'un *trépied* au centre de laquelle fait saillie un boulon de forme spéciale.



Vers le haut de la tige du pendule, perpendiculairement à celle-ci et faisant intimement corps avec elle, est fixé un collimateur, consistant en un petit tube en laiton fermé à l'une de ses extrémités par un verre dépoli et à l'autre par une lentille divergente.

Entre le verre dépoli et la lentille, est tendu horizontalement un fil de cocon, teint en noir pour le rendre plus visible.

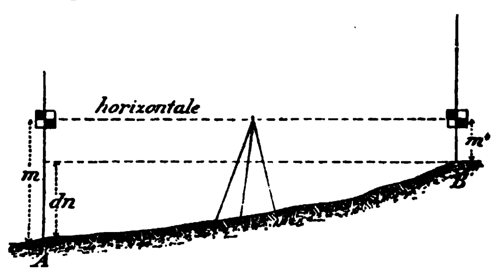
Le plan passant par ce fil et le centre optique de la lentille doit être, *par construction*, perpendiculaire au pendule : quand le pendule est librement suspendu et au repos c'est donc un plan horizontal.

La boîte cylindrique est percée de deux fenêtres aux extré-

mités d'un diamètre passant par l'axe du tube collimateur. Ces fenêtres ont une forme elliptique qui permet de voir *à la fois* le fil de cocon dans le tube viseur et à côté de ce tube une mire dans la campagne.

Le fil de cocon, étant placé un peu en deçà du foyer principal de la lentille grossissante, son image *allongée* apparaît comme si elle était à la distance de 30 à 40 mètres, et se détache en une ligne noire bien nette sur le fond clair du verre dépoli. L'œil, placé à la fenêtre du côté de la lentille, voit directement la mire par la fenêtre opposée, mais comme il voit en même temps dans le tube, le fil, par l'effet de *l'allongement* produit par la lentille, *semble couper la mire.*

Nivellement. — On se place en station à égale distance des points A et B dont on veut déterminer la différence de niveau; l'aide amène en A, puis en B, la ligne de foi du voyant sur le fil horizontal du collimateur : on obtient deux hauteurs de mire m et m'



$$dn = m - m'.$$

Pour que l'opération soit exécutée dans de bonnes conditions, avec le niveau à collimateur, il faut que l'instrument ne soit pas à plus de 50 mètres de la mire.

Vérifications. — On plante deux piquets A et B, à 30 ou 40 mètres de distance l'un de l'autre, sur un terrain en pente; ces piquets sont destinés à servir de support à la mire. On établit successivement le niveau en station en S et en S′ à un mètre en arrière de A et de B sur l'alignement AB; on prend de chaque station les hauteurs de mire sur A et sur B et l'on calcule la différence de niveau d'après les deux opérations.

Si le collimateur ne détermine pas un plan horizontal, l'erreur qu'entraîne ce défaut de construction sera accusée par la discordance des deux différences de niveau. Si dans plusieurs épreuves la discordance dépasse toujours un à deux centimètres (somme

---

Instructions sur le niveau à collimateur. — « *Monter l'instrument.* — Dévissez, jusqu'à l'arrêt, l'écrou du boulon placé au centre de la tête du pied; soulevez ce boulon et engagez sa tête dans le trou inférieur de la base du niveau; déplacez celui-ci horizontalement pour amener la tête du boulon au-dessus du logement pratiqué dans la base; enfin, vissez l'écrou autant que possible, sans le serrer. L'instrument sera alors fixé sur le pied, avec possibilité de tourner autour de la tête du boulon.

» *Préparatifs de l'observation.* — Tournez, de droite à gauche, le bouchon supérieur jusqu'à l'arrêt; ce bouchon aura alors monté de 7 mill., et les deux ouvertures latérales de l'enveloppe seront démasquées. Approchez votre œil de celle qui est au-dessous du bouton supérieur marqué B (la petite vis latérale de l'enveloppe sera alors à votre droite). Déplacez légèrement votre œil, à droite ou à gauche, jusqu'à ce que vous voyiez à la fois : 1° à travers l'ouverture postérieure, les objets qui sont en avant de vous; 2° sur la droite et à travers la lentille du collimateur, un fil horizontal noir se détachant sur un fond blanc. Les points des objets vus directement auxquels le fil noir semblera se superposer seront de niveau avec le centre de la lentille.

» *Visées avec l'instrument.* — Pour donner un coup de niveau, orientez l'instrument de telle sorte que le milieu du fil noir ou du champ blanc se superpose à peu près à la mire. Pour arrêter les oscillations du fil, appuyez fortement le bout de l'index sur le bouton B, et soulevez ensuite cet index très lentement en l'inclinant; vous amènerez par là le pendule à sa position d'équilibre, en lui rendant sa liberté. Puis, l'index étant soulevé, faites élever la ligne de foi du voyant à la hauteur du fil noir, ou bien lisez la hauteur sur une mire parlante. — Les myopes doivent faire usage des verres qui leur permettent de voir la mire avec netteté.

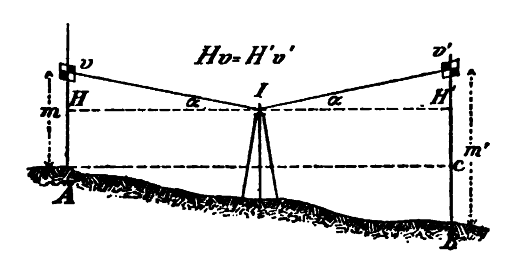
» *Mobilité du pendule.* — Après avoir orienté l'instrument, il faut toujours examiner si le fil paraît osciller sur les objets vus directement. Si le fil était fixe, cela prouverait que le pendule touche à l'enveloppe, et le plan de visée ne serait pas horizontal; on agirait alors sur les pieds de support pour redresser l'enveloppe, ce qui rendrait au pendule sa mobilité.

» *Transport du niveau.* — Avant de changer de station, tournez toujours le bouchon supérieur de gauche à droite, ce qui force ce bouchon à s'enfoncer dans l'enveloppe, et fait pénétrer le pendule dans 2 logements destinés à l'immobiliser. »

des erreurs de pointages d'après Goulier), on renverra l'instrument au constructeur.

On peut cependant se servir du niveau tel qu'il est, en opérant par la méthode depuis le milieu, c'est-à-dire en plaçant toujours l'instrument à égale distance des points dont on cherche la différence de niveau. (Mais c'est là un assujettissement inacceptable lorsqu'il s'agit d'instruments destinés à des nivellements rapides.)

En effet, supposons que le plan donné par le collimateur fasse un angle α avec l'horizontale et que nous nous soyons mis en station à une distance IH $=$ IH′ des deux mires.



La différence de niveau entre A et B est Bc.

La différence de niveau accusée par l'instrument est

$$dn = m' - m = v'\mathrm{B} - v\mathrm{A} = (\mathrm{B}c + c\mathrm{H}' + \mathrm{H}'v') - (\mathrm{AH} + \mathrm{H}v) = \mathrm{B}c$$

car $$c\mathrm{H}' = \mathrm{AH} \text{ et } \mathrm{H}'v' = \mathrm{H}v.$$

On emploie toujours la méthode depuis le milieu quel que soit le niveau, quand l'instrument n'a pas été vérifié ou lorsqu'on désire opérer avec quelque exactitude.

Le niveau à collimateur de Goulier remplace le niveau d'eau; il donne des résultats au moins aussi exacts que celui-ci.

Il est plus portatif, plus rapide, très solide [1], moins encombrant; il a le mérite de ne pas demander un long apprentissage pour être manié beaucoup plus sûrement que le niveau d'eau.

Mais, c'est un instrument agaçant au début : l'action du vent, sur le trépied et sur le pendule par les fenêtres, rend le plan de visée instable; le pendule est toujours en mouvement, malgré une sorte de frein mû par un bouton, établi dans la base supérieure

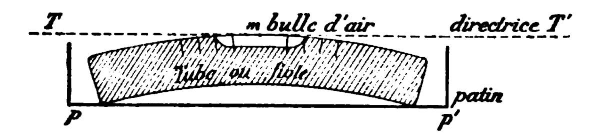
[1] Il faut le renverser très violemment pour le déranger.

de la boîte, que l'on presse du doigt pour arrêter les oscillations. On s'habitue cependant assez vite à faire placer la ligne de foi du voyant à une hauteur moyenne par rapport aux déplacements extrêmes du fil, et l'on n'attend pas que le pendule soit absolument au repos.

Nous nous trouvons bien de l'emploi de ce niveau à l'École militaire.

Niveau à bulle d'air [1].

L'instrument se compose d'un bout de tube ou *fiole* de verre, dont la courbure supérieure est exactement circulaire [2]. La fiole



est fixée sur un ***patin*** en cuivre, de telle façon que son milieu est plus élevé que ses extrémités.

Un manchon en cuivre protège le verre contre les chocs extérieurs et ne laisse à nu que la partie supérieure de la fiole. La fiole est remplie, à quelques gouttes près, de naphte, d'éther ou d'alcool, puis fermée hermétiquement à la lampe [3]

La bulle d'air, emprisonnée dans la fiole, en vertu des lois de l'hydrostatique, occupe constamment la partie la plus élevée du tube.

L'instrument étant bien construit et réglé, lorsque le milieu de la bulle occupe le milieu de la partie supérieure de la fiole, la base *pp'* du patin est parallèle à la tangente TT' qui est horizontale.

TT' s'appelle ***la directrice du niveau***. (Beaucoup d'auteurs l'appellent ***horizontale de la bulle.***)

---

[1] Fut inventé par Thevenot vers 1650.

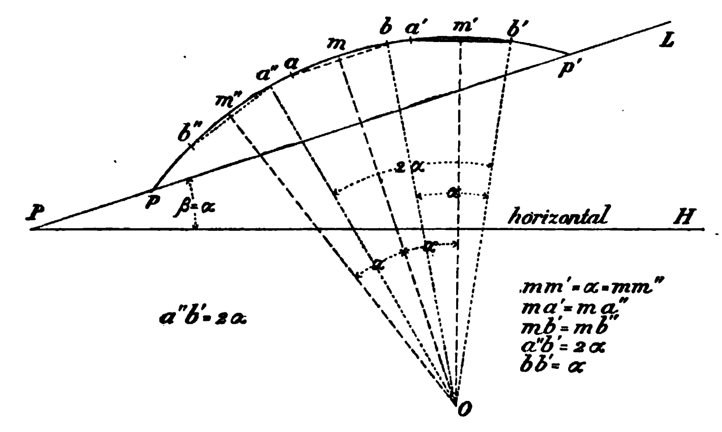
[2] En réalité un tore creux : les figures sont plus simples comme nous les donnons et la théorie est suffisante.

[3] Ces liquides sont plus mobiles que l'eau et ne se congèlent qu'à de très basses températures. L'eau, en se congelant, obligerait le topographe à suspendre ses opérations et pourrait provoquer la rupture du tube.

Des traits parallèles, équidistants de 2 à 3 millimètres, son gravés sur la partie supérieure de la fiole, des deux côtés et à égale distance du milieu *m* : ces traits permettent d'apprécier les déplacements de la bulle.

Le tube ayant une courbure exactement circulaire, il en résulte que la quantité dont la bulle se déplace, lorsque le patin cesse d'être horizontal, est proportionnelle à l'angle que fait alors le patin *avec un plan horizontal.*

En effet, soit *pmp'* la courbure *exagérée* du tube, *ab* le niveau du liquide quand le patin *pp'* est horizontal, *a'b'* le niveau du liquide quand le patin repose sur un plan incliné PL.



Pour passer de la première position à la seconde, le milieu *m* de la bulle a parcouru un arc *mm'* qui est la mesure de l'angle au centre α, formé par les rayons *mo* et *m'o*, respectivement perpendiculaires à *ab* et *a'b'*, le niveau du liquide dans chacune des positions, ou, ce qui revient au même, à PL et PH.

La bulle a donc fait un chemin proportionnel à l'angle α ou à l'angle β, qui lui est égal, vu que les côtés de ces angles sont perpendiculaires entre eux.

Si l'on retournait le niveau bout pour bout sur PL, la bulle prendrait une position symétrique dans l'autre moitié du tube, son milieu viendrait en *m''*, et l'arc *m''m'* serait égal *au double* de l'angle α ou de l'angle β que forme le plan incliné PL avec le plan horizontal PH.

Un niveau est dit ***réglé*** quand le milieu de la bulle d'air vient se placer exactement au milieu de la fiole, ***lorsque le patin repose sur un plan horizontal.*** On constate que le milieu de la bulle coïncide avec le milieu du tube en s'assurant, par les traits de repère, de ce que les extrémités a et b de la bulle s'arrêtent à hauteur de deux traits de même numéro : on dit alors que la ***bulle est entre ses repères.***

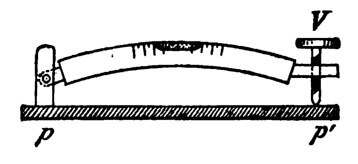
Si, au lieu d'observer la course du milieu de la bulle, on observe la course de ses extrémités, on constate que ces extrémités se déplacent également d'une quantité proportionnelle à l'angle au centre α ou à l'angle β formé par les deux surfaces PL et PH; c'est-à-dire que $aa' = mm'$, $bb' = mm'$.

Enfin, si l'on retourne le niveau bout pour bout, l'extrémité a' de la bulle prendra une position a'' symétrique de a' dans l'autre moitié du tube, et les arcs ma' et ma'' seront égaux; de même mb' et mb'', c'est-à-dire que les deux extrémités de la bulle auront occupé successivement des points à ***égale distance*** du milieu de la fiole et que, ***pour l'opérateur qui n'aura pas bougé,*** la bulle paraîtra revenir, après le retournement, identiquement au point où elle se trouvait avant cette opération.

Remarque. — Si l'on voulait rendre le plan PL horizontal, il faudrait le faire descendre, autour de P comme charnière, jusqu'à ce que l'extrémité b' de la bulle vînt en b ***milieu de l'arc*** $a''b' = 2\alpha$.

Réglage de la bulle. — Le niveau à bulle d'air étant un instrument très délicat, que les variations de température et les chocs inévitables dérangent facilement, il est nécessaire de le vérifier et de le rectifier (de le régler) chaque fois qu'on en fait usage.

Pour rendre possible le réglage de la bulle, le niveau porte une vis V à l'une de ses extrémités. La ***vis de réglage*** peut abaisser ou élever une des extrémités de la fiole par rapport au patin, modifier par conséquent l'angle que forme la base du patin avec la directrice du milieu de la fiole, rendre cette base parallèle à la directrice lorsqu'elle ne l'est pas.



Pour régler le niveau, on pourrait se servir d'un plan parfaitement horizontal, poser le patin sur ce plan et amener la bulle entre ses repères en agissant sur la vis de réglage.

Mais, en principe d'abord, les instruments doivent se vérifier et se rectifier par eux-mêmes; puis, pour établir un plan horizontalement, il faudrait se servir d'un autre niveau qui lui-même devrait être vérifié au préalable.

On peut opérer de plusieurs façons, suivant les moyens dont on dispose.

1° On pose le patin sur une règle munie de vis calantes à ses extrémités, on amène la bulle entre ses repères en agissant sur la vis calante de l'une des extrémités de la règle, on retourne le niveau bout pour bout :

Si la bulle revient entre ses repères, le niveau est réglé. Si elle ne revient pas entre ses repères, d'après ce que nous avons dit plus haut, c'est que le patin n'est pas parallèle à la directrice du milieu de la fiole; le déplacement des deux extrémités de la bulle, d'un même côté du tube par rapport à l'observateur qui n'a pas bougé, mesure alors précisément le double de l'angle que fait la règle avec une horizontale [1] : Si donc nous

---

[1] *1re position du niveau.* — Voyez la figure page 182. — La base du patin est Bp', elle repose sur la règle RR'. La base, pour être parallèle à la directrice du milieu m de la fiole, devrait se confondre avec pp'. Nous voyons que Bp' et pp' font entre elles un angle α.

Le niveau étant posé sur cette règle RR', placée d'une façon quelconque, pour amener la bulle entre ses repères, c'est-à-dire pour rendre la directrice du milieu de la fiole horizontale, nous devons donner à la règle support RR' une pente α égale, mais en sens inverse, à l'angle α que fait la base du patin avec la directrice du milieu de la fiole.

Cette pente de la règle, nous l'obtenons en agissant sur une des vis calantes jusqu'à ce que la bulle vienne entre ses repères. Nous avons alors la *1re position* indiquée dans la figure.

2e position du niveau. — Si nous retournons le niveau bout pour bout, sans toucher à la règle RR', les choses se passent comme l'indique la *2e position* de la figure (le retournement devrait être fait *absolument* au même endroit de la règle, mais cela compliquerait la figure).

Le milieu de la bulle, en m dans la première position, passe en m' après le retournement; pp' s'est incliné de 2α sur l'horizontale. L'angle au centre

ramenons la bulle vers le milieu de la fiole de la moitié de l'écart observé, en ***agissant sur une des vis calantes de la règle,*** nous aurons rendu la règle horizontale.

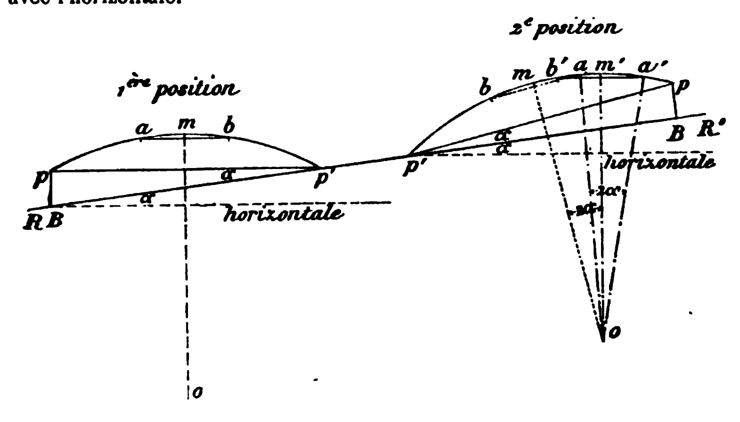
La règle étant horizontale, il n'y aura plus qu'à amener la bulle entre ses repères, ***en agissant sur la vis de réglage du niveau,*** pour rendre la directrice du milieu de la fiole parallèle au patin.

2° Au lieu d'une règle, on emploie ***généralement*** un support

---

mom' = 2α, ses côtés étant respectivement perpendiculaires à l'horizontale et à *pp'*.

L'arc *mm'* est la mesure de l'angle 2α; l'arc *aa'* mesurant le déplacement observé des extrémités de la bulle, d'un même côté par rapport à l'observateur, est égal à *mm'* = 2α, double de l'angle que fait la base du patin avec la directrice du milieu de la fiole, double de l'angle que fait la règle RR' avec l'horizontale.

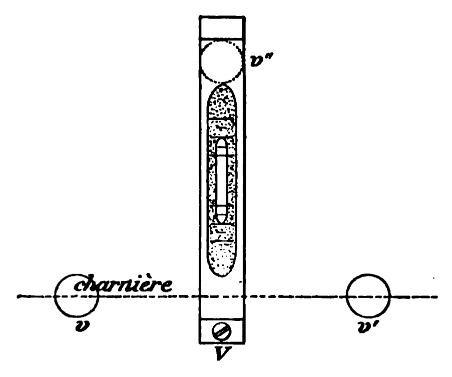


On peut régler le niveau de deux façons : 1° on ramène la bulle vers le milieu de la fiole de $\frac{aa'}{2}$, au moyen de la vis de réglage du niveau : on supprime ainsi l'angle α que forme *p'*B avec la directrice du milieu de la fiole, *p'*B se confond alors avec *pp'*, et *le niveau est réglé.*

Ou bien, 2° on ramène la bulle vers le milieu de la fiole de $\frac{aa'}{2}$, en agissant sur une des vis calantes de la règle RR', on supprime l'angle de pente α de la règle, on rend le plan de cette règle horizontal.

Ayant dès lors le niveau placé sur *un plan horizontal,* il suffit d'amener la

(une pièce quelconque d'un instrument) muni de trois vis calantes $vv'v''$. Ces vis sont placées au sommet d'un triangle équilatéral.



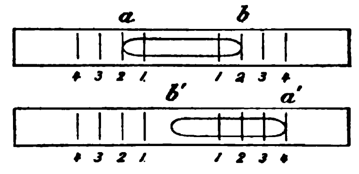
On place le niveau à régler perpendiculairement à la droite qui unit deux vis v et v', et l'on agit sur la troisième vis v'', les pointes des deux premières servant de charnière, etc., comme pour la règle ; seulement, il faut avoir soin de faire exactement le retournement, car rien

---

bulle entre ses repères au moyen de la vis de réglage du patin pour régler le niveau.

C'est le 2° qui mène le plus pratiquement au but.

Exemple concret. — Dans la 1re position, on observe que les extrémités *a* et *b* de la bulle arrivent aux divisions n° 2 de la fiole.



Dans la 2de position, on constate que l'extrémité *a'*, à droite de l'observateur, vient à hauteur de la division n° 4.

Pour rendre la règle RR' horizontale, on ramène la bulle de une division vers le milieu de la fiole, en d'autres termes on fait venir l'extrémité *a'* de la bulle à hauteur de la division n° 3 *en agissant sur une des vis calantes de la règle.* Puis, à l'aide de la *vis de réglage de la fiole* on achève de ramener la bulle entre ses repères, c'est-à-dire ses deux extrémités à hauteur des divisions n° 2. *Le niveau est alors réglé.*

L'expérience nous a démontré qu'il est nécessaire d'entrer dans ces détails : le niveau à bulle d'air fait partie de presque tous les instruments, il est de toute nécessité que le topographe en connaisse parfaitement le maniement.

Remarque. — Il n'est pas nécessaire d'amener d'abord la bulle entre ses repères, il suffit de noter les positions de la bulle avant et après le retournement et de la ramener vers le milieu de la fiole de la moitié de la différence des écarts à l'aide de la vis de réglage. Nous préférons de beaucoup la méthode que nous avons exposée, elle paraît plus longue, mais elle

n'indique que la charnière du mouvement est horizontale (voir *Niveau Lenoir*).

3° Si l'on n'a pas de support à vis calantes pour régler le niveau, on se sert d'une surface plane à peu près horizontale, une table solide par exemple.

On place le niveau sur la table et on le fait tourner sur lui-même jusqu'à ce que la bulle se présente à peu près entre ses repères ; on trace une ligne au crayon sur la table, suivant les contours du patin, pour être certain de faire exactement le retournement bout pour bout ; on note la division à laquelle arrive une des extrémités de la bulle (division 3 à droite par exemple) ; on retourne le niveau bout pour bout, on lit la division à laquelle s'arrête l'extrémité de la bulle, du même côté par rapport à soi (à sa droite donc dans l'hypothèse).

Si les écarts sont égaux du même côté, (si dans l'exemple choisi, la bulle revient à la division 3 à droite), le niveau est réglé.

Si les écarts sont inégaux, c'est que la base du patin n'est pas parallèle à la directrice du milieu de la fiole, et la différence des écarts, d'un même côté par rapport à l'observateur, mesure le double de l'angle que fait la base du patin avec la directrice du milieu de la fiole : on agit sur la vis de réglage et l'on déplace la bulle de la moitié de la différence constatée : le niveau est réglé.

Pratiquement, il sera nécessaire de recommencer une ou deux fois l'opération.

On dit qu'un *niveau est calé* quand la bulle de la fiole est *entre ses repères*.

Tous les niveaux à bulle d'air ne sont pas montés sur un patin, mais on peut concevoir aisément une ligne fictive remplaçant la base du patin, et ramener les cas particuliers à celui que nous venons de traiter : nous aurons l'occasion d'examiner quelques-uns de ces cas.

---

est pratiquement plus rapide et n'exige ni attention ni effort de mémoire de la part de l'opérateur.

L'oubli et les distractions sont les ennemis les plus acharnés du topographe.

Niveau à patin muni d'une réglette.

Supposons un plan parfaitement horizontal et un niveau à patin non réglé et, de plus, dépourvu de graduations sur la fiole et de vis de réglage.

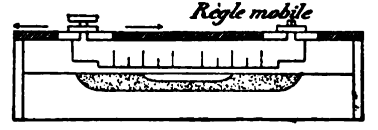
Plaçons ce niveau sur le plan horizontal : la bulle ira se loger dans une partie du tube qui ne sera *très probablement pas* le milieu de la fiole.

Si nous faisons tourner le niveau sur lui-même, dans tous les sens, la bulle ne se déplacera pas, vu l'horizontalité du plan de support : la tangente à la bulle, dans la position qu'elle occupe, est donc horizontale et *sera la directrice du niveau*.

Il saute aux yeux que si nous voulons amener un plan à l'horizontalité, à l'aide de ce niveau spécial, il suffira de modifier l'inclinaison de ce plan jusqu'à ce que la fiole donne la directrice que nous avons déterminée par l'expérience *sur un plan horizontal*.

Si donc nous avons eu soin, dans cette expérience, de graver sur le verre ou sur le manchon des traits (des repères) aux extrémités de la bulle, il nous sera facile d'amener le niveau à donner la directrice convenable.

La *réglette mobile*, adaptée à certains niveaux, n'a d'autre but que de remplacer ces repères de circonstance que nous graverions sur la fiole ou sur le manchon d'un niveau dépourvu de traits sur le verre et de vis de réglage.



C'est une petite règle métallique sur laquelle sont tracés des traits équidistants, analogues à ceux que l'on grave habituellement sur le verre des fioles, et qui peut se déplacer à volonté dans le sens de la longueur du niveau.

Elle permet d'établir à demeure la fiole sur le patin et de supprimer la vis de réglage. La vis de réglage étant en acier, tandis que le patin est en cuivre, il se produit des dilatations inégales dans les métaux et ces dilatations modifient la position de la directrice du niveau ; puis la vis de réglage, qui n'est pas vissée à fond, se dérange par les chocs et les transports.

La construction du niveau à réglette est plus délicate, le mécanicien doit placer la fiole de façon à ce que, une fois soudée au patin, la directrice du niveau soit ***vers le milieu*** de la fiole; les réparations, les remplacements d'une fiole brisée sont plus difficiles et plus coûteux.

L'usage de la réglette, qui s'était rapidement répandu en France, semble avoir révélé des inconvénients, car les constructeurs en reviennent généralement aux traits sur la fiole et à la vis de réglage.

La réglette a un mérite ***très sérieux*** : elle permet de placer beaucoup plus haut l'instrument sur son pied, ce qui a pour avantage, en terrain incliné, d'augmenter assez bien la longueur des nivelées et de diminuer, par conséquent, le nombre de stations [1].

Pour régler un niveau à patin à réglette, on amène le milieu ***de la réglette*** vers le milieu de la fiole; on pose le niveau sur un support muni de vis à caler, on amène la ***bulle entre les repères de la réglette;*** on retourne le niveau bout pour bout : si la bulle revient entre les repères de la réglette, le niveau est réglé; si elle s'en écarte, ***on fait appuyer la réglette*** vers le milieu de la bulle de la moitié de l'écart constaté.

On recommence l'opération comme vérification.

Le niveau à axe de rotation de l'École militaire de France, dont nous possédons et employons dans nos nivellements une demi-douzaine d'exemplaires, porte un niveau à réglette.

Nous avons fait remplacer la réglette à quelques-uns de ces niveaux, dont la fiole avait été accidentellement brisée, par des fioles graduées et munies de vis de réglage et nous sommes très satisfait de cette transformation [2].

Le niveau des Ponts et Chaussées français, du même type, est muni d'une fiole graduée. (Voir l'instrument.)

---

[1] Les erreurs augmentent en proportion du nombre des stations. Voir *pratique du nivellement*, p. 164; $aA < 1$.

[2] Quand le topographe est de petite taille, il éprouve un peu de difficulté pour observer la marche de la bulle.

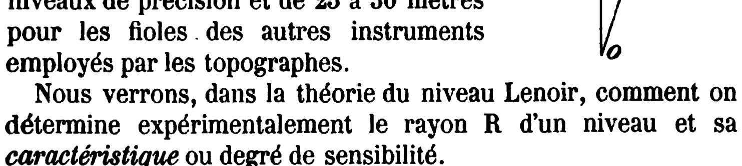
Sensibilité d'un niveau.

Pour une inclinaison α du niveau, donnée par l'angle formé par les rayons MO et NO passant par le centre de courbure de la fiole, le déplacement de la bulle est égal à l'arc MN.

Plus MN est grand pour un déplacement angulaire α, plus le niveau est sensible.

Or MN, pour un angle α donné, est d'autant plus grand que le rayon de courbure R est grand.

L'expérience prouve que le rayon R doit être d'environ 50 mètres pour les niveaux de précision et de 25 à 30 mètres pour les fioles des autres instruments employés par les topographes.



Nous verrons, dans la théorie du niveau Lenoir, comment on détermine expérimentalement le rayon R d'un niveau et sa *caractéristique* ou degré de sensibilité.

Niveau sphérique.

Il se compose d'une fiole cylindrique en verre, dont la surface de la base est perpendiculaire à la génératrice du cylindre et la partie supérieure formée d'une calotte sphérique dont le plan tangent au milieu est parallèle à la base.

Cette fiole, remplie d'un liquide à une ou deux gouttes près, est fermée au chalumeau.

Quand le niveau est réglé, la bulle, lorsque la base repose sur un plan horizontal, occupe le milieu de la calotte sphérique. Des circonférences concentriques, gravées sur le verre, permettent de repérer la position de la bulle.

La fiole en verre est encastrée dans un patin ou dans un logement pratiqué dans l'instrument qu'elle sert à régler.

On vérifie le niveau sphérique en le plaçant sur un plan horizontal, obtenu au moyen d'un bon niveau à patin.

Les niveaux sphériques ont la propriété d'assurer, sans déplacement du niveau, l'horizontalité dans tous les sens, ils déterminent en effet un ***plan directeur*** au lieu d'une directrice.

S'ils étaient très sensibles, ils seraient impossibles à manier; on ne les emploie que pour une mise horizontale approximative, et, pour ce motif, leur rayon de courbure varie de 2 à 3 mètres seulement.

C'est un niveau de l'espèce que porte l'alidade à lunette de la planchette que nous employons dans nos levés (p. 149).

Niveaux à lunette.

Il existe un grand nombre d'instruments de ce genre; ils ne diffèrent entre eux que par des détails de construction plus ou moins importants.

Nous n'en étudierons à fond que deux : le niveau à plateau ou niveau-cercle de ***Lenoir,*** le plus ancien, le plus solide, actuellement encore fort en usage; et le niveau à axe de rotation de l'École militaire de France, qui est un spécimen du type le plus en vogue en ce moment.

Ces deux niveaux, que nous emploierons dans nos travaux d'applications, comme du reste tous les instruments de précision de l'espèce, se composent essentiellement d'un niveau à bulle d'air et d'une lunette astronomique : la lunette repose sur un appareil destiné à modifier son inclinaison suivant les indications du niveau à bulle d'air et à lui donner la stabilité nécessaire dans les opérations.

Dans les uns, le niveau à bulle d'air ne fait pas corps avec le reste de l'instrument, peut s'enlever à volonté, prendre des positions diverses par rapport aux autres pièces de l'appareil : on les appelle ***niveaux à fiole indépendante.*** Tels sont le niveau ***Lenoir*** et le niveau français. Dans les autres, le niveau à bulle d'air est rivé, soudé à quelque partie de l'instrument : on les nomme ***niveaux à fiole fixe.*** Tel est le niveau d'***Égault,*** dont nous dirons un mot également.

Niveau-cercle ou à plateau de Lenoir.

« Lenoir Étienne, né à Meir (Loir-et-Cher) en 1744, mort à
» Paris en 1832.

» Habile constructeur d'instruments de précision. Il construisit
» le répétiteur pour *Borda*, les instruments que *Delambre* et
» *Mechain* emportèrent dans leur expédition aux Pyrénées,
» ceux qui servirent à *La Pérouse d'Entrecastiaux* et *Baudin*
» dans leurs voyages, ceux que les savants qui accompagnèrent
» *Bonaparte* emportèrent en Égypte, le mètre étalon, le premier
» fanal à miroir parabolique, pour le phare de Corduan à
» Bordeaux, etc. » (*Hist. des sciences math. et phys.*, tome IX, page 305.)

Vers 1820, *Lenoir* inventa le niveau qui porte son nom. *Bourdaloue* s'en servit dans les grands travaux de nivellement dont il a couvert la surface de la France.

C'est à l'aide du niveau à plateau *Lenoir* qu'a été exécutée la plus grande partie des opérations du nivellement général en Belgique.

L'instrument, tel que l'employa notre Dépôt de la Guerre (Institut cartographique militaire), fut construit à Bruxelles par *Beaulieu* et coûtait, en 1867, 300 francs [1].

Le niveau-cercle de *Lenoir* (voyez la figure page 190), se compose d'un plateau circulaire en cuivre massif, monté sur une colonne supportée par trois branches ou pieds munis de vis calantes; d'une lunette astronomique et d'un niveau à bulle d'air indépendant du plateau et de la lunette.

Le plateau, pour les opérations, repose sur la tête d'un trépied par l'intermédiaire de ses trois vis calantes et se lie intimement à ce trépied au moyen d'une tige filetée, autour de laquelle s'enroule un ressort à boudin (comme la boussole, p. 125).

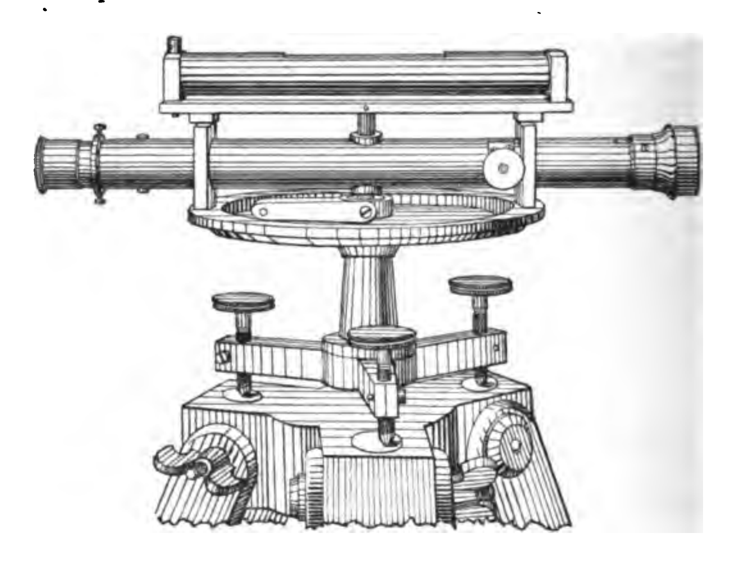
La lunette astronomique porte deux collets prismatiques à faces opposées rectangulaires ou carrées et parallèles.

---

[1] On se servit également, dans les nivellements de premier ordre, du grand niveau à fourche de Beaulieu et, exceptionnellement, du niveau de Brunner. Voir *Nivellement général de Belgique*.



Par deux de ces faces, la lunette repose librement sur le plateau, mais elle est cependant armée de deux tourillons qui s'engagent, l'un dans un logement à ce destiné au centre du plateau, l'autre dans un logement semblable pratiqué dans la base du patin du niveau à bulle d'air.



Ces tourillons relient entre elles les différentes pièces indépendantes qui forment l'instrument de nivellement et maintiennent la fiole sur les collets de la lunette, et ceux-ci aux extrémités d'un diamètre du plateau-cercle. Le tourillon qui s'engage dans le plateau régularise et facilite aussi le pointage de la lunette.

Le niveau à patin ou fiole est un niveau à bulle d'air ordinaire, d'un rayon de courbure de 40 à 50 mètres. Une vis de correction permet de rendre le plan du patin et la directrice de la fiole parallèles.

Conditions de construction.

1° Il faut que le niveau à bulle soit réglé, c'est-à-dire que la base du patin soit parallèle à la directrice de la fiole, lorsque

la bulle d'air se trouve entre ses repères. Il est nécessaire aussi que le niveau soit d'une sensibilité convenable.

2° Que les collets de la lunette soient parfaitement égaux.

3° Que la surface du plateau sur laquelle appuient les collets soit rigoureusement plane.

(Que la partie du cercle du plateau sur laquelle les collets de la lunette prennent appui soit dans un même plan. Cette marque est utile, car beaucoup de plateaux sont évidés ou évasés vers le centre, particularité qui a fait donner au niveau Lenoir le nom de ***niveau à cuvette)***.

4° Que le réticule ne ballotte pas dans la lunette.

5° Que les fils du réticule soient perpendiculaires entre eux et l'un d'eux horizontal quand l'instrument est calé.

6° Que l'axe optique de la lunette soit parallèle à la directrice du niveau à bulle d'air quand celui-ci repose sur les collets de la lunette.

Vérifications et rectifications.

1° ***Le niveau à bulle d'air doit être réglé et suffisamment sensible.*** — ***Réglage***. On établit le plateau de l'instrument horizontalement à vue et l'on s'en sert comme support pour régler la fiole. On place celle-ci sur un diamètre perpendiculaire à la droite qui unit deux vis calantes. On amène la bulle entre ses repères, puis on retourne la fiole ***exactement*** [1] bout pour bout sur le diamètre : si la bulle revient entre ses repères, c'est que le niveau est réglé; si elle s'en écarte, c'est que la directrice de la fiole n'est pas parallèle à la base du patin (voir p. 183).

Pour corriger ce défaut, on ramène la bulle vers ses repères de la ***moitié*** du nombre de divisions dont elle s'en est écartée, ***au moyen de la vis de réglage*** de la fiole.

---

[1] On a eu soin de tracer des traits au crayon suivant les contours du patin.

Le praticien ne se contente pas d'établir le plateau horizontalement ***à vue***, il se sert de la fiole ***telle qu'elle est*** : il la place parallèlement à deux vis calantes, puis perpendiculairement à celles-ci, et il amène la bulle entre ses repères dans les deux positions. Nous entrerons dans quelques détails à ce sujet à propos du niveau à axe de rotation.



Pour s'assurer de l'exactitude de la rectification, on agit ***sur la vis calante*** qui se trouve sous le diamètre du plateau sur lequel le niveau est posé, on achève de ramener la bulle entre ses repères : la double opération que l'on a effectuée a rendu la directrice de la fiole parallèle au patin et le diamètre du plateau sur lequel il est posé horizontal. On retourne de nouveau la fiole bout pour bout et la bulle ***doit revenir entre ses rèpères*** (voir p. 183).

Quand on n'a pas une grande habitude de manier les instruments, on n'arrive à régler parfaitement la fiole qu'après trois ou quatre rectifications.

Remarque. — Généralement, au lieu de poser la fiole sur le plateau, on la place sur les collets de la lunette, celle-ci reposant sur le plateau.

Sensibilité du niveau. — Si le niveau est trop sensible, la bulle devient folle, saute d'une extrémité à l'autre de la fiole sous l'influence du moindre déplacement angulaire imprimé à l'instrument, qui devient d'un maniement désagréable et laborieux; si le niveau n'est pas assez sensible, la bulle est paresseuse, et les opérations manquent de précision.

La sensibilité d'un niveau dépend de son rayon de courbure (voir p. 187).

S'assurer de la sensibilité d'un niveau consiste donc à rechercher R, le rayon de courbure de la fiole. L'expérience a prouvé que ce rayon doit être d'environ 50^{ms} pour les instruments du genre de celui dont nous nous occupons.

pp' première position du patin
pp'' seconde id. id.
l'axe optique est parallèle à la base du patin

Recherche du rayon de courbure de la fiole. — On place une mire bien verticalement contre un arbre ou une habitation, pour lui donner beaucoup de stabilité, à une distance mesurée de 100 mètres; on cale avec soin l'instrument,

après avoir dirigé la lunette sur la mire; on lit la hauteur de mire m_1, directement ou en faisant amener le voyant à hauteur voulue; on fait reculer l'extrémité antérieure de la bulle d'une quantité n (que l'on mesure au double décimètre), en agissant sur une vis calante; on prend la nouvelle hauteur de mire m_2

On a sensiblement $\frac{R}{n} = \frac{100}{m_2 - m_1}$ ou $R = \frac{100 \times m}{m_2 - m_1}$.

Impossible de modifier, naturellement; si la fiole ne convient pas, on en prend une autre.

Mais il est toujours fort utile, ne fût-ce que pour ne pas perdre son temps à des minuties, de connaître le degré de sensibilité de la fiole avec laquelle on opère, et d'être édifié sur le soin que l'on doit apporter au calage de l'instrument.

Ce soin dépendra de la précision que réclame le nivellement que l'on exécute.

Au lieu de déterminer R, on se borne généralement à chercher la différence de hauteur de mire qu'entraîne un déplacement de la bulle d'air, de la longueur *d'une division* de la fiole, sur une mire tenue à 100 mètres. *Cette différence s'appelle la caractéristique de la fiole.*

Pour qu'une fiole soit bonne, il faut que sa caractéristique soit comprise entre 10 et 20 millimètres.

La recherche de la *caractéristique* se fait comme la détermination du rayon : on place une mire à 100 mètres, on amène *la bulle en contact avec un trait de division,* on lit la hauteur de mire m_1; puis, en agissant sur une vis calante, on déplace la bulle de *une division*, on lit la nouvelle hauteur de mire m_2.

$$m_2 - m_1 = \text{caractéristique du niveau.}$$

Voir *Nivellement général de Belgique,* page 217.

2° ***Les collets doivent être parfaitement égaux. Cette condition est la plus importante.*** — *Vérification.* On nettoie avec grand soin les collets, le plateau et la base du patin de la fiole.

On établit horizontalement le plateau à l'aide de la fiole, en



plaçant celle-ci dans une direction parallèle à deux vis calantes, puis dans une direction perpendiculaire à la première.

On pose la lunette sur le plateau, en engageant l'un des tourillons dans le logement qui lui est destiné, l'axe optique de la lunette perpendiculairement à la droite qui unit deux vis calantes; on place la fiole sur les collets de la lunette et l'on appelle la bulle très exactement entre ses repères, en agissant sur la 3e vis calante.

On soulève la fiole *sans la retourner;* on fait faire exactement une demi-révolution à la lunette autour de son tourillon, (on retourne bout pour bout, on substitue un collet à l'autre sur le plateau), et l'on replace le niveau sur les collets : si les collets sont égaux la bulle revient entre ses repères [1].

Rectification. Si les collets sont inégaux, on renvoie la lunette au constructeur.

On peut cependant corriger soi-même l'inégalité des collets en usant au moyen de papier fin à l'émeri, appliqué sur une surface bien plane telle qu'une glace, l'excès de hauteur d'un des prismes carrés : ce moyen de correction est donné par *Bourdaloue* qui s'est servi du niveau *Lenoir* pour exécuter le nivellement général de la France; mais l'opération est fort délicate, on n'y recourra qu'en cas d'accident et si l'on se trouve dans l'impossibilité de s'adresser à un artiste mécanicien.

3° ***La surface du plateau doit être rigoureusement plane.*** — *Vérification.* On pose la lunette sur le plateau et le niveau réglé sur les collets de celle-ci. (On pourrait poser le niveau

---

[1] Il n'est pas nécessaire que la fiole soit réglée, il n'est pas nécessaire non plus d'appeler la bulle entre ses repères, il suffit de s'assurer de ce qu'elle revient exactement dans la même position après la substitution d'un collet à l'autre. Nous préférons régler avant tout la fiole et toujours amener la bulle entre ses repères au début de toutes les vérifications, parce que la position de la bulle est ainsi fort bien déterminée et que nous n'avons pas à mettre notre mémoire à contribution. Il n'est pas indispensable que le plateau soit horizontal, mais il est préférable qu'il le soit, car, si la demi-rotation de la lunette n'est pas faite exactement, l'écart éventuel de la bulle pourrait provenir de l'inclinaison du plateau. Nous entrerons dans des détails à ce sujet en donnant le niveau à axe de rotation. (Page 208.)



directement sur le plateau, mais il s'agit surtout de vérifier la surface sur laquelle s'appuient les collets, dont seule on fait usage).

On amène la bulle entre ses repères dans deux directions perpendiculaires entre elles, en plaçant le niveau parallèlement à deux vis calantes d'abord, puis sur une perpendiculaire à la droite qui les unit; on fait ensuite décrire une rotation complète à la lunette, entraînant le niveau, et l'on s'assure de ce que la bulle se maintient d'une façon constante et rigoureuse entre ses repères.

La construction du plateau Lenoir est tellement élémentaire qu'il n'est guère possible qu'un constructeur sérieux livre au public des instruments imparfaits sous ce rapport; d'autre part, l'épaisseur du plateau empêche que des chocs, même assez violents, faussent cette partie du niveau.

Un moyen grossier de constater si la surface du plateau n'a pas été faussée, consiste à promener légèrement le plateau renversé sur une surface bien plane et à examiner si le poli donné au métal par le frottement est continu et d'épaisseur uniforme sur tout le pourtour du cercle.

Rectification. Il faut envoyer l'instrument au mécanicien.

4° La réticule ne peut pas ballotter dans la lunette. — *Vérification*. Fixer une mire contre un mur. Diriger la lunette sur la mire. Soulever la lunette et la laisser retomber légèrement cinq ou six fois sur le plateau pour lui donner de petits chocs. Retourner la lunette sens dessus-dessous, avec infiniment de précaution pour ne donner aucun choc. Lire la hauteur de mire avec soin et la noter. Soulever et laisser retomber la lunette comme plus haut, l'incliner à droite et à gauche, lui donner de petits chocs; imprimer des mouvements alternatifs au pignon de la crémaillère pendant qu'on a l'œil à la lunette : les fils ne doivent pas danser sur la mire et la hauteur de mire doit rester celle que l'on a notée.

S'il y avait ballottement, le réticule descendrait plus ou moins après le retournement, les erreurs seraient *variables* et on ne pourrait les éliminer.

Rectification. Serrer à fond les vis du chassis du réticule; si le défaut persiste, rejeter l'instrument ou l'envoyer au mécanicien.

Le moyen de vérifier, qui vient d'être donné, n'est pas infaillible; le défaut est capital et n'est pas rare. Dans le cours des opérations, on s'apercevra qu'il y a ballottement si l'on constate, dans les doubles lectures, des différences qui ne sont pas proportionnelles aux distances de la mire à l'instrument.

5° ***Les fils du réticule doivent être perpendiculaires entre eux et l'un d'eux horizontal lorsque l'instrument est calé.*** — *Vérifications.* La perpendicularité des fils du réticule se vérifie suffisamment à l'œil; cependant, après avoir établi horizontalement l'un des fils, comme nous allons l'exposer, si l'on doutait de la position du fil qui doit lui être perpendiculaire, il suffirait, après avoir calé l'instrument, de viser un fil à plomb ou une arête de bâtiment. Si les fils ne sont pas perpendiculaires entre eux on a recours à un artiste mécanicien, le placement d'un fil d'araignée est trop délicat pour qu'on tente l'opération soi-même. Si ce sont des traits gravés, on refusera l'instrument.

Le pointage par la croisée des fils donne plus de précision aux observations; la croisée des fils existe quel que soit l'angle sous lequel les fils se coupent, mais il est indispensable que les fils soient perpendiculaires entre eux pour assurer la tenue verticale de la mire et pour éviter *l'obligation* d'amener la croisée des fils exactement au centre du voyant, opération assez difficile avec le niveau *Lenoir* dont on manœuvre la lunette à la main.

Pour juger de l'horizontalité du fil, on établit l'instrument à 50 mètres d'une porte (d'un fond noir), en ayant soin de placer deux vis calantes perpendiculairement à la direction de la ligne de visée. On rend ensuite le plateau bien horizontal; on dirige la lunette vers la porte et l'on place l'œil à l'oculaire; un aide promène un morceau de craie blanche vers l'endroit où passe l'axe optique et le topographe arrête le mouvement de la main de l'aide lorsque la craie est sur l'axe optique; l'aide marque alors un gros point rond sur la porte; si le fil parallèle au plateau ne bissecte pas rigoureusement le point blanc marqué par l'aide, on agit sur la vis calante d'avant, qui élève ou abaisse légèrement l'axe optique : on promène ensuite toutes les parties du fil sur le point blanc, en faisant mouvoir la lunette à droite et à gauche autour de son tourillon, et l'on observe si le point est

bissecté constamment de la même façon; s'il en est ainsi, le fil est horizontal.

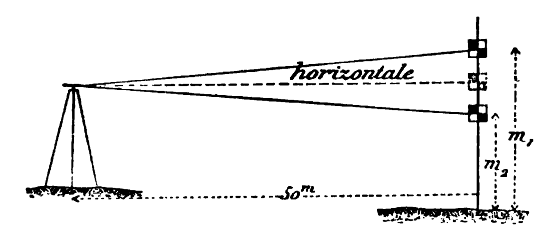
A défaut de fond noir et de craie, on peut se servir de l'un des petits rectangles blancs qui se trouvent au-dessus et au-dessous de la ligne de foi du voyant de la mire; ou, mieux encore, d'un petit disque de papier blanc collé à la salive au milieu d'un carré rouge du voyant de la mire, que l'on fait hisser à la hauteur voulue. On a soin d'appuyer la mire contre un arbre ou contre un bâtiment pour lui donner une grande stabilité.

Rectification. — Si le fil n'est pas horizontal, on desserre la vis qui maintient le guide du réticule, on fait tourner celui-ci de manière à corriger la déviation observée, puis on remet la vis à fond.

Cette rectification est indispensable, comme nous l'avons dit, si l'on ne veut s'astreindre à viser toujours par la croisée des fils du réticule, opération laborieuse avec le niveau Lenoir, vu que la lunette doit être pointée à la main et que le frottement des collets sur le plateau est assez fort.

6° ***L'axe optique de la lunette doit être parallèle à la directrice de la fiole.*** — *Vérification.* — On cale soigneusement le niveau; on fait amener le voyant d'une mire, tenue à 50 mètres, sur l'axe optique de la lunette; on soulève la fiole; on retourne la lunette sens dessus-dessous; on replace la fiole, *sans la retourner*, sur les collets; on s'assure de ce que la bulle n'est pas dérangée et l'on ramène la ligne de visée sur le voyant : l'axe optique doit encore passer par la ligne de foi.

Rectification. — Si cette condition n'est pas réalisée, on lit



la première hauteur de mire m_1, puis la seconde hauteur de mire m_2.

On fait placer le voyant à la hauteur de mire moyenne $\frac{m_1 + m_2}{2}$ et l'on agit sur la lunette, pour corriger la direction de son axe optique et l'amener à passer par la ligne de foi du voyant.

Cette rectification peut se faire de deux façons : l'axe optique étant la ligne fictive qui passe par le centre optique de l'objectif et la croisée des fils du réticule, on peut agir, pour le dévier, soit sur l'objectif, soit sur le réticule.

Si le centre de figure de l'objectif ne coïncide pas rigoureusement avec son centre optique, on obtiendra un déplacement angulaire de l'axe de la lunette en faisant tourner l'objectif dans l'écrou qui le fixe au canon fileté de la lunette.

Mais, ce n'est pas ainsi que l'on procède généralement, car, l'objectif n'étant plus vissé à fond dans le canon de la lunette, la rectification ne serait pas stable : on agit de préférence sur la croisée des fils du réticule, que deux vis de correction permettent de faire monter ou descendre légèrement (page 110).

Cette opération est appelée par beaucoup d'auteurs le *centrage* de la lunette.

En pratique, comme nous allons le voir, on ne modifie la direction de l'axe optique que si cette direction est absolument trop défectueuse et donne, avant et après le retournement, des hauteurs de mire assez différentes.

Méthode générale de nivellement.

(Méthode de la double observation combinée avec la méthode depuis le milieu.)

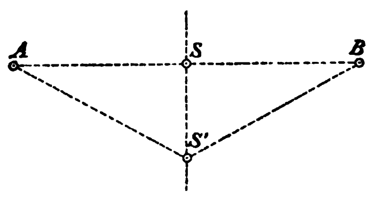
Quel que soit le soin que l'on apporte à vérifier et à rectifier l'instrument, on n'arrive jamais à le rendre parfait, et si même on parvenait à éliminer momentanément toutes ses imperfections, on ne pourrait compter sur la stabilité des corrections opérées : les chocs inévitables qui se produisent pendant les transports, le jeu accidentel des vis, les dilatations et les contractions du métal ou des métaux sous l'influence des variations de température, etc., produisent toujours des dérangements plus ou moins profonds dans l'agencement des pièces; les

poussières, qui s'attachent au plateau ou aux collets de la lunette, peuvent également affecter d'erreurs les observations.

Or, on ne peut à chaque instant recommencer les vérifications et les rectifications, ce serait une perte de temps considérable : on est donc amené, naturellement, à tirer parti de l'instrument tel qu'il est après une seule série de vérifications faites avec soin.

A cette fin, on procède toujours par *double observation* sur chaque point et l'on place l'instrument à égale distance des deux points dont on cherche la différence de niveau.

On établit donc *solidement* l'instrument en station en S ou en S′, en enfonçant *fortement* ses pieds dans le sol et en maintenant à vue le plateau du trépied dans une position horizontale; les trois vis calantes ayant été, au préalable, disposées de façon à permettre des rectifications égales dans les deux sens [1]. On rend le plateau horizontal en calant la fiole, posée sur les collets de la lunette, dans deux directions perpendiculaires entre elles. On dirige la lunette sur la mire tenue sur A, on appelle la bulle exactement entre ses repères, on lit une hauteur de mire h_1; *on retourne la fiole bout pour bout et la lunette sens dessus-dessous*; on fait une seconde visée sur A, *en ayant grand soin de ramener éventuellement la bulle entre ses repères*; on lit la seconde hauteur de mire h_2.



On prend la moyenne des deux hauteurs de mire

$$\frac{h_1 + h_2}{2} = \text{H}.$$

[1] Les niveaux perfectionnés ont une tête de trépied à calotte sphérique dans le genre de celle de la planchette Goulier (page 144). L'instrument étant solidement en station, on rend le support des vis calantes horizontal en se guidant sur les indications d'un niveau sphérique encastré dans la tablette du trépied.



D'après ce que nous avons dit plus haut et à propos du niveau à collimateur, (p. 197 et p. 174), H est débarrassée des erreurs qui pourraient provenir d'un défaut de réglage de la fiole ou d'une fausse direction de l'axe optique de la lunette, mais non d'une erreur qui proviendrait de l'inégalité des collets [1].

En effet, si les collets sont inégaux h_1 et h_2 seront toutes les deux ou trop petites ou trop grandes, vu que les collets restent dans la même position relativement à la ligne de visée pendant les deux nivelées.

La hauteur de mire moyenne H, observée sur le premier point, peut donc, par suite de l'inégalité des collets, être affectée d'une erreur $\pm \varepsilon$.

Soit $$H = M \pm \varepsilon$$

M étant la hauteur de mire vraie.

On fait une double observation sur le point B également, et, ce second point étant à la même distance de l'instrument que le premier, on obtient :

$$\frac{h_3 + h_4}{2} = H' = M' \pm \varepsilon.$$

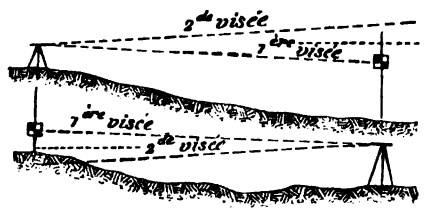
d'où $dn = H - H' = (M \pm \varepsilon) - (M' \pm \varepsilon) = M - M'.$

La valeur *dn* est donc débarrassée de toutes les erreurs provenant des défauts de l'instrument, et en outre, comme nous l'avons vu page 163, des erreurs de sphéricité et de réfraction.

Conclusion pratique. — Dans un nivellement de précision, on procédera toujours par la méthode de la double observation

---

[1] Remarque. — Si les hauteurs de mire h_1 et h_2 devenaient assez différentes, il faudrait corriger l'instrument pour ne pas être exposé à perdre du temps dans deux cas spéciaux : celui où le voyant de la mire serait à peu près au plus haut et celui où il serait très près du sol.

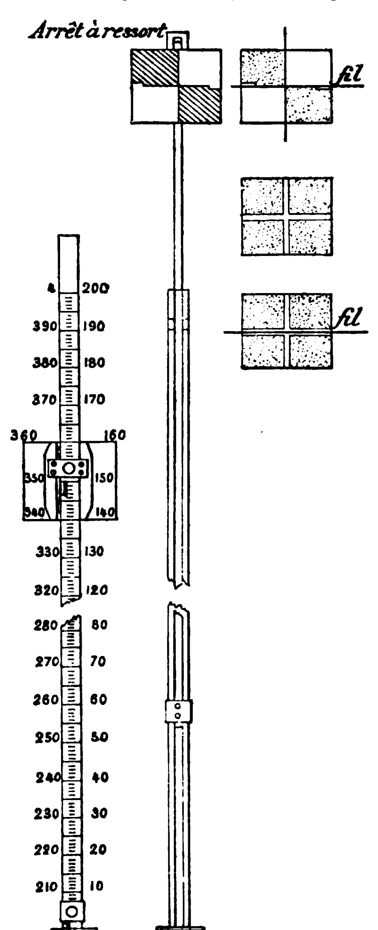


Il pourrait arriver alors, qu'à la seconde visée, l'axe optique passât au-dessus de la mire ou fichât dans le sol en avant de celle-ci.

combinée avec la méthode depuis le milieu. Voir *Carnet d'inscriptions*, p. 169 et *Nivellement général de Belgique*, p. 217.

Mires de nivellement.

On se sert encore beaucoup en Belgique, pour les nivellements ordinaires, de mires à coulisse dont la figure ci-dessous représente un des spécimens en usage à l'École militaire. Il y a tendance générale cependant à ne plus se servir que de mires parlantes, dont nous avons donné des fragments pages 79 et 80 et dont nous parlerons encore dans quelques instants.



Le voyant de la *mire à coulisse* peut être fixer à volonté jusque 2 mètres de hauteur sans employer la coulisse, comme pour la mire de l'Institut (page 176).

Si l'on veut élever le voyant plus haut que 2 mètres, on commence par l'amener à 2 mètres, contre un arrêt à ressort qui limite *exactement* à 2 mètres sa course vers le haut; on le fixe à cette hauteur en serrant sa vis de pression; puis, on desserre la vis de pression du bracelet inférieur; on soulève alors ce bracelet, qui fait glisser la règle, sur laquelle est assujetti le voyant, dans une coulisse de la mire principale. On arrête le mou-

vement d'ascension quand la ligne de foi est à hauteur voulue, et on lit cette hauteur à l'index du bracelet inférieur.

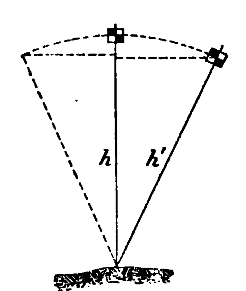
La mire, sur son revers, porte des graduations dont les origines sont numérotées respectivement 0 et 2 mètres : quand on emploie la coulisse, c'est à l'échelle dont l'origine est 2 mètres qu'on fait les lectures.

Il y a des voyants de toutes les formes et peints de toutes les façons. Nos couleurs en Belgique sont généralement blanc et rouge, bleu quand il y a trois couleurs. En Suisse, d'après nos remarques, on préfère blanc et noir, et l'on a théoriquement raison.

Les opinions sur la valeur relative des formes et des couleurs des voyants et des mires sont fort discordantes, et cela se comprend : chacun a sa vue propre, ses habitudes, ses goûts particuliers; le climat, l'atmosphère et le paysage dans chaque pays doivent avoir de l'influence sur le choix des couleurs.

Pour notre part, nous préférons le type de voyant de la mire à coulisse de l'École militaire.

Il y a tendance générale, avons-nous dit, à ne plus se servir que de mires parlantes : Les mires parlantes sont plus rapides et demandent, de la part de l'aide, moins d'adresse et d'intelligence. Par les temps humides, la coulisse ne fonctionne d'habitude pas très bien : Outre que les mouvements imprimés au voyant se font par saccades, l'aide penche généralement la mire, en avant ou en arrière, pour faire des efforts suffisants, et diminue ainsi la hauteur de mire sans que le topographe puisse s'en apercevoir.



Le topographe, en effet, peut fort bien constater de sa lunette si la mire penche à droite ou à gauche, mais il lui est impossible de voir si la mire est inclinée en avant ou en arrière dans le plan vertical de visée.

L'erreur peut être fort importante avec des mires dont la hauteur peut aller jusque 4 mètres :

$h - h'$ peut valoir 1 à 2 centimètres et est toujours de même signe, systématique par conséquent.

Il est nécessaire de pointer à nouveau lorsque l'aide cesse la manœuvre du voyant et d'aller lire soi-même : On s'assure ainsi de ce que la mire a été bien tenue, on contrôle la lecture de l'aide et l'on ne risque pas d'avoir un dérangement du voyant pendant le transport de la mire, si le bracelet n'a pas été bien serré [1].

Conditions de construction de la mire à coulisse. — 1° Les graduations doivent être exactes. Il faut les vérifier toutes avec soin, à partir de l'origine de toutes les graduations ;

2° Le zéro de l'index du voyant doit être placé à hauteur de sa ligne de foi ;

3° Le zéro de l'index du bracelet de la coulisse doit se trouver en coïncidence avec la division initiale du bas, quand la règle qui se meut dans la coulisse est complètement abaissée ;

4° La ligne de foi du voyant doit être à hauteur de la division 2 mètres, lorsque le voyant est en contact avec l'arrêt à ressort ;

5° La mire doit être construite en bois de chêne ou en bois de sapin bien sec et de toute première qualité.

Mire stadia de l'Institut cart. mil. (Voyez page 75.) — On peut faire usage de cette mire dans les nivellements, soit en utilisant le voyant mobile, soit comme mire parlante au moyen des graduations en décimètres d'un côté et des graduations en doubles centimètres du côté opposé.

Mire stadia suisse (employée avec l'alidade-éclimètre). — C'est une mire parlante à coulisse de 4 $\frac{1}{2}$ mètres, divisée en centimètres sur les deux faces, assez simple, peinte noir et blanc (Voir le spécimen).

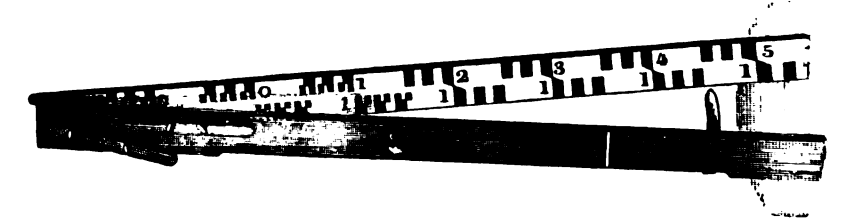
Mire stadia du colonel Goulier. — Nous employons, dans nos nivellements, diverses mires parlantes du système Goulier ; la figure page 204 représente la petite mire, qui n'a que 2^{m}50 de hauteur ; nous avons des mires de 3 mètres, de 4 mètres et même de 4^{m}63. Toutes ces mires sont munies de niveaux

---

[1] Lorsqu'on fait usage d'une mire parlante, il est prudent d'aller s'assurer de temps en temps de ce que l'aide ne penche la mire ni en avant ni en arrière. Il est rare, surtout lorsqu'on travaille en terrain incliné, que le porte-mire tienne verticalement son instrument.



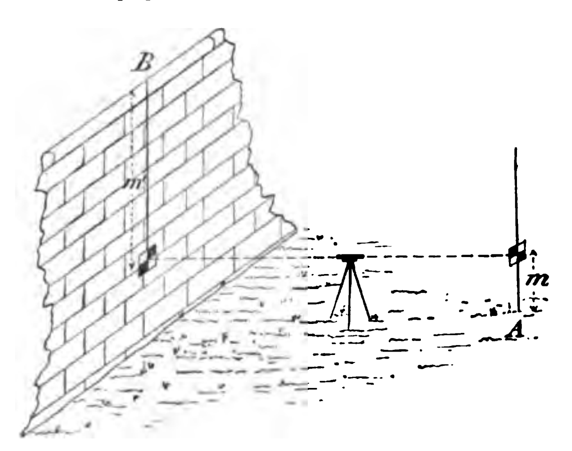
sphériques et d'une poignée mobile. La charnière en est simple et solide. Les divisions, rouge et blanc, et la chiffraison sont



bien entendues. Les mires sont relativement légères et commodes pour le transport. Elles donnent de très bons résultats.

Mire de nivellement du Dépôt de la guerre (Voyez la description de cette mire *Nivellement général de Belgique*, p. 218).

Mires perfectionnées. — L'étude des divers genres de mires dont on fait usage aujourd'hui pour les nivellements de haute précision est fort intéressante, mais le temps nous manque pour l'entreprendre. Ceux qui voudront creuser ce sujet, consulteront avec avantage le *Mémorial de l'officier du génie*, n° 28. (France.) Édition de 1892, pages 416 et suivantes.



Observations. — La mire doit toujours reposer sur une construction solide et stable ou sur un piquet (p. 168).

L'usage de la mire à voyant renversé n'est pas à conseiller, il est cependant des cas où l'on peut difficilement opérer en agissant autrement. Par exemple, s'il fallait passer d'un fossé de fortification dans le terre-plein de l'ouvrage : on aurait alors

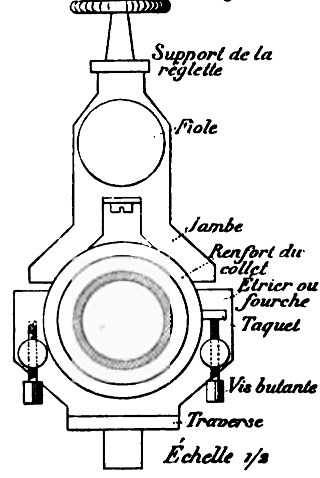
$$\text{cote B} = \text{cote A} + (m + m').$$

Niveau à axe de rotation français.

(Type à fiole indépendante.)

Le niveau à axe de rotation, de l'École militaire de France, se compose d'un pivot vertical supporté par trois branche sou pieds munis de vis calantes (comme le théodolite).

L'axe du système repose, par ses vis, sur la tête d'un trépied *très élevé,* auquel il est fixé par une tige à ressort. Page 206.



Sur le pivot vertical, légèrement tronconique, s'engage une douille portant à sa partie supérieure une traverse perpendiculaire à son axe.

La traverse est armée, à ses extrémités, de fourches dans lesquelles s'engagent les collets cylindriques d'une lunette astronomique.

La fiole est un niveau à jambes qui repose librement sur les collets de la lunette.

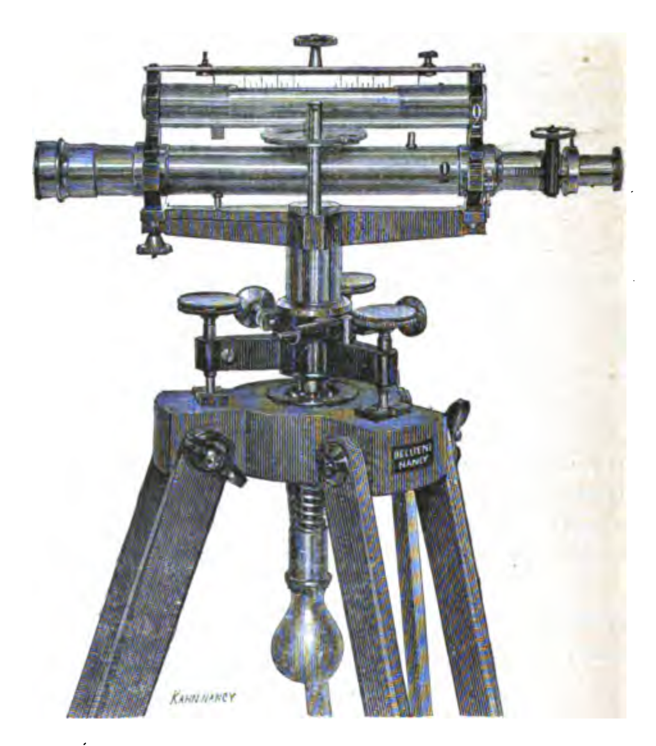
La fiole est à réglette (voir page 185) [1].

La lunette peut exécuter une demi-révolution autour de son axe de figure : un *taquet,* fixé au collet du côté de l'oculaire,

---

[1] Le niveau des Ponts et Chaussées français, dont nous possédons un spécimen, est muni d'une fiole graduée sur le verre (voir l'instrument).

limite et précise la demi-rotation en venant heurter contre deux vis butantes placées sur la fourche correspondante de la traverse.



Les collets cylindriques ont, sur les collets prismatiques, l'avantage de ne pas exiger que l'opérateur enlève la fiole et la lunette pour retourner celle-ci sens dessus-dessous.

Une bride spéciale (voir l'instrument) permet de fixer la fiole et la lunette à la traverse, pendant les transports d'une station à l'autre, et de retourner la fiole bout pour bout sans que la liaison avec la traverse cesse d'exister. Le niveau des Ponts et Chaussées a un autre genre de bride qui n'est pas plus mauvais.

Conditions de construction, vérifications et rectifications.

1° *Les collets doivent être parfaitement égaux.* — On amène la lunette dans une direction perpendiculaire à deux vis calantes, on serre la pince qui fixe la traverse à l'axe du système; on appelle la bulle entre les repères de la réglette en agissant sur la troisième vis calante. On enlève la fiole *sans la retourner;* on enlève la lunette, on la retourne bout pour bout et on la replace sur les fourches de la traverse (substituant ainsi un collet à l'autre sur la traverse); on pose la fiole sur les collets : la bulle doit revenir *exactement* entre les repères de la réglette.

Remarque. — Le niveau ne doit pas être réglé pour effectuer cette vérification. Il n'est pas nécessaire non plus que l'on appelle la bulle entre les repères de la réglette : il suffit que l'on constate que la bulle revient exactement devant les mêmes divisions de la réglette, mais, en amenant la bulle entre les repères, on n'est pas obligé de retenir les numéros des divisions de la réglette, les observations se font avec plus de facilité.

2° *La fiole doit être réglée.* — La fiole est réglée quand les repères de la réglette indiquent la position que doit occuper la bulle d'air pour que la directrice du niveau soit parallèle à l'axe de figure du cylindre déterminé par les collets de la lunette.

Réglage. — On cale l'instrument de la même façon que pour vérifier l'égalité des collets, on appelle la bulle entre les repères de la réglette en agissant sur une vis calante; on retourne la fiole bout pour bout sur les collets de la lunette : la bulle doit revenir entre les repères de la réglette.

Si la bulle ne revient pas entre les repères de la réglette, on fait appuyer latéralement *la réglette vers la bulle* de la moitié de l'écart constaté (on desserre à cet effet les vis de la réglette).

On recommence deux ou trois fois l'opération.

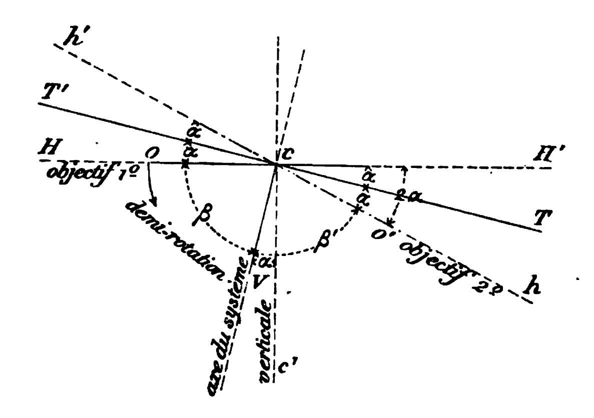
Si la fiole était munie d'une vis de réglage et portait des divisions sur le verre, comme dans le niveau des Ponts et Chaussées français ou les niveaux que nous avons fait transformer en 1892, on ramènerait la bulle, vers le milieu de la fiole, de la moitié de l'écart constaté, au moyen de la vis de réglage (voir le niveau Lenoir page 191).

3° ***L'axe optique de la lunette doit être parallèle à la directrice de la fiole.*** — On cale l'instrument; on fait amener la ligne de foi du voyant d'une mire, tenue à 50 mètres, sur la croisée des fils du réticule, le taquet de la lunette appuyant sur une des vis butantes de la fourche, la vis de droite par exemple; on serre la pince qui fixe la traverse à l'axe du système; on fait faire une demi-révolution à la lunette autour de son axe optique, on amène ainsi le taquet en contact avec la vis butante de gauche; on s'assure de ce que la croisée des fils du réticule passe encore par la ligne de foi du voyant.

On rectifierait comme il a été dit pour le niveau Lenoir, p. 197.

4° ***L'axe optique de la lunette doit être perpendiculaire à l'axe vertical de rotation du système.*** — On cale la fiole dans deux directions perpendiculaires entre elles; on place la lunette dans une direction perpendiculaire à la droite qui unit deux vis calantes; on rectifie la position de la bulle si elle s'était dérangée; puis on fait faire *exactement* une demi-révolution à la traverse, entraînant la lunette et la fiole, autour de l'axe vertical du système : *la bulle doit revenir entre ses repères.*

Si la bulle ne revient pas entre ses repères, l'axe optique



n'est pas perpendiculaire à l'axe de rotation, et le déplacement de la bulle mesure le double de l'erreur de perpendicularité.

En effet, il résulte des vérifications précédentes, que l'axe optique se confond avec l'axe de figure du cylindre déterminé par les collets de la lunette et que cet axe est parallèle à la directrice de la fiole.

La traverse, par hypothèse, n'est pas perpendiculaire à l'axe de rotation du système, et par traverse nous pouvons entendre l'axe optique qui lui est assujetti.

Supposons, pour fixer les idées, que l'axe optique fait avec l'axe du système un angle $\beta = 90 - \alpha$ (à gauche dans la position donnée par la figure page 208).

A l'aide des vis calantes, nous avons amené la bulle de la fiole *réglée* entre les repères de la réglette, l'objectif de la lunette étant dirigé vers H : l'axe optique a pris la position *HH'*, *horizontale,* mais l'axe de rotation V*c* s'est incliné de α sur la verticale *cc'*.

Quand nous faisons faire à la traverse, entraînant la lunette et la fiole, une demi-rotation (exactement 180°), l'axe optique prend la position *hh'* qui fait avec sa première position HH' un angle 2α, car, l'axe du système n'ayant pas bougé, $\beta' = \beta$.

Or, c'est cet angle 2α qu'accuse et *mesure* le déplacement de la bulle (p. 182).

En ramenant la bulle de la *moitié* de son écart *au moyen de la vis de fin calage de la traverse* [1], nous ferons prendre à l'axe optique la position TT' perpendiculaire à l'axe de rotation du système qui n'a pas bougé.

Dès ce moment, l'instrument sera corrigé.

Pour s'en assurer, on cale de nouveau la fiole dans deux directions perpendiculaires entre elles *au moyen des vis calantes,*

---

[1] « Pour cela, on desserre à l'aide de la clef mobile (qui se trouve dans » la boîte du niveau) la petite vis d'acier qui traverse la grosse vis à bouton » molleté; on visse ou l'on dévisse un tant soit peu celle-ci, selon qu'il » faut abaisser ou élever le support mobile, puis on serre fortement la » petite vis, en maintenant la grosse avec les doigts pour l'empêcher de » tourner.

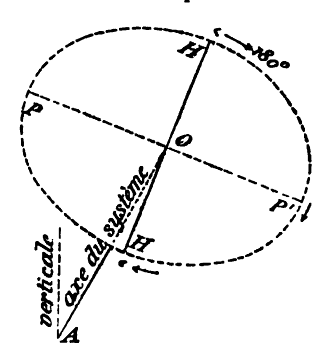
» *Il faut serrer fortement la petite vis pour assurer la stabilité de la* » *rectification.* »

on rend de cette façon l'axe du système vertical; on recommence l'opération.

Il faut deux ou trois corrections pour arriver à une rectification parfaite.

Cette rectification parfaite étant obtenue, on fait faire *lentement* une révolution complète à la traverse, et l'on constate que la bulle ne se déplace absolument pas.

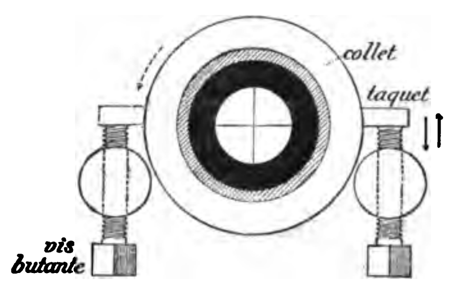
REMARQUE. — Le calage de l'instrument *dans deux directions* perpendiculaires entre elles, au début de la vérification, est nécessaire : supposons en effet un instrument rectifié (dont la traverse est perpendiculaire à l'axe de rotation du système); inclinons l'axe de rotation OA, puis faisons décrire un tour d'horizon à la lunette : l'axe optique engendrera un plan perpendiculaire à l'axe de rotation, mais il passera successivement par des inclinaisons ascendantes et descendantes par rapport à un plan horizontal qui passerait par O; ces inclinaisons seront maxima dans la ligne de plus grande pente PP' du plan engendré et nulles dans la direction HH', perpendiculaire à la ligne de plus grande pente ou *horizontale*. Or, lorsqu'on cale le niveau dans une seule direction, c'est cette horizontale HH' du plan perpendiculaire à l'axe de rotation que l'on obtient au moyen de la fiole réglée et du jeu des vis calantes; seulement, comme l'instrument ne porte aucun repère bien déterminé, on n'est nullement certain de faire décrire ensuite exactement 180° à la lunette, et, si l'on fait ± 180°, l'axe optique n'est plus perpendiculaire à la ligne de plus grande pente du plan de rotation, n'est donc plus horizontal (le déplacement de la bulle est d'autant plus grand que l'inclinaison PP' est plus forte) : de ce que la bulle ne revient pas entre ses repères, on tire la conclusion fausse que l'axe optique n'est pas perpendiculaire à l'axe de rotation, et l'on fait des rectifications intempestives et déconcertantes. C'est pour éviter autant que possible cet inconvénient, qu'on commence par caler la fiole dans deux directions perpendiculaires, c'est-à-dire par rendre au début l'axe du système *à peu près* vertical.



5° Le réticule ne peut pas ballotter. (Voyez *Niveau Lenoir*, page 195.)

6° *L'instrument étant calé, un des fils du réticule doit être*

horizontal, quand le taquet du collet d'arrière de la lunette prend appui sur l'une ou l'autre des vis butantes de la fourche, l'autre fil doit alors être vertical.



On cale la fiole dans deux directions perpendiculaires entre elles et l'on procède ensuite comme nous l'avons indiqué pour le niveau Lenoir, page 197. Si le fil n'est pas horizontal, on abaisse ou on élève la vis butante, contre laquelle appuie le taquet, jusqu'à ce que la condition soit remplie; on fait ensuite appuyer le taquet contre l'autre vis butante, et l'on exécute la même opération.

Emploi de l'instrument. — On opère identiquement de la même façon qu'avec le niveau Lenoir. Voir *Méthode générale de nivellement,* page 198. (On ne soulève pas la lunette pour la retourner sens dessus-dessous.)

Le niveau à axe de rotation et à fiole indépendante est le type de niveau que l'on construit le plus aujourd'hui : son maniement est plus agréable et plus rapide que celui du niveau Lenoir; grâce à certains accessoires, dont nous parlerons, il est aussi plus exact que le niveau à plateau, quand il est construit à grands frais pour des nivellements de précision. Le niveau Lenoir est plus robuste et les expériences que les élèves font chaque année à l'École militaire semblent prouver que, dans des mains peu exercées, il donne de meilleurs résultats que le niveau à axe de rotation : nous ne faisons que constater ce fait, auquel nous ne pouvons attribuer aucun motif bien sérieux, car le niveau de l'École d'application de France est très simple, très facile à manier, excellent en un mot. Si, personnellement, nous devions exécuter un nivellement, nous donnerions la préférence au niveau de Goulier [1].

---

[1] Construit par Bellieni à Nancy. Le type que nous employons à l'École militaire coûte 260 frs.

L'inconvénient le plus sérieux du niveau Lenoir, c'est que de la poussière ou de la crasse peut s'attacher au plateau ou aux collets.

Le niveau Lenoir est en tout cas *un bon niveau*, il a fait ses preuves dans les opérations de notre *Nivellement général*, p. 217.

Niveau à fiole fixe.

Niveau d'Egault [1]. — C'est un niveau à axe de rotation dont la différence essentielle, avec le niveau de l'École française, consiste en ce que la fiole est fixée à ***demeure sur la traverse.***

La fiole est sous la lunette; elle porte des divisions sur le verre et est munie ***d'une vis de réglage.***

La traverse n'a pas non plus de vis de fin calage.

Condition de construction, vérifications et réglage. — 1° *La fiole doit être réglée.* Cela signifie ici, que la directrice du milieu de la fiole doit être perpendiculaire à l'axe du système ou, en d'autres termes, que l'axe de l'instrument étant vertical, la bulle doit se trouver entre ses repères.

On cale l'instrument dans deux directions perpendiculaires entre elles à l'aide des indications de la fiole telle qu'elle est [2]. Puis on place la traverse perpendiculairement à deux vis calantes, on appelle la bulle entre ses repères au moyen de la 3ᵉ vis calante. On fait faire exactement une demi-révolution à la traverse, entraînant la fiole dans son mouvement : si la bulle revient entre ses repères, le niveau est réglé; si elle s'en écarte, on corrige de la moitié par la vis de réglage de la fiole.

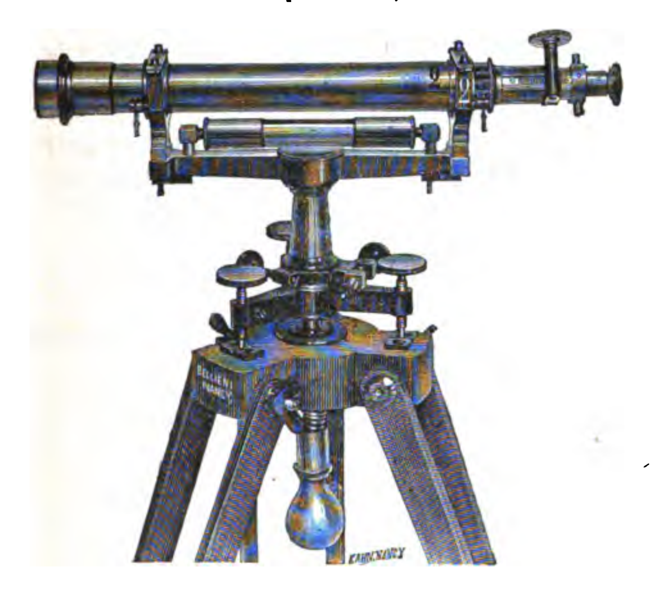
---

[1] Nous choisissons le niveau d'Egault, parce qu'il figure au programme de l'examen A, artillerie et génie.

[2] Ce calage préparatoire est nécessaire, car généralement l'instrument ne porte aucun repère qui puisse permettre de juger si le demi-tour que l'on va faire exécuter à la traverse est exactement de 180° (Voir le niveau précédent, p. 210). Parfois le niveau d'Egault porte au bas de la douille, qui s'engage sur le pivot, un limbe dont les divisions, dans les mouvements horizontaux, passent vis-à-vis d'un vernier fixe : le modèle du cabinet de topographie de l'École militaire possède un limbe de l'espèce, qui peut servir à lever la direction des coups de niveau ou des angles horizontaux.

On recommence une ou deux fois l'opération.

2° *Les collets cylindriques de la lunette doivent être égaux.* On s'en assure au moyen d'un niveau à jambes, indépendant de l'instrument (Voir le niveau précédent).



L'instrument ne permet donc pas, par lui seul, une vérification *directe* de la condition d'égalité des collets : c'est là un défaut très sérieux.

Des auteurs préconisent des vérifications *indirectes* assez compliquées et en somme peu pratiques : on emploiera, dans les nivellements, la méthode depuis le milieu qui élimine les erreurs qui pourraient provenir de l'inégalité des collets.

3° *L'instrument étant calé, l'un des fils doit être horizontal et l'autre lui est perpendiculaire* (Voir le niveau précédent).

4° *L'axe optique de la lunette doit se confondre avec l'axe du cylindre des collets.*

On dirige la lunette sur une mire tenue à 50 mètres ; on cale la fiole, on fait amener la ligne de foi du voyant de la mire sur l'axe optique, on serre la vis de pression ; on retourne la lunette sens

dessus-dessous ; on s'assure de ce que la bulle est encore entre ses repères : l'axe optique doit encore passer par la ligne de foi du voyant.

On rectifie, au besoin, comme on l'a fait pour la lunette du niveau Lenoir page 197.

5° *L'axe optique de la lunette doit être parallèle à la directrice de la fiole ou, ce qui revient au même, perpendiculaire à l'axe de rotation du système.*

On cale *soigneusement* l'instrument, de façon à ce que pendant une révolution complète de la traverse la bulle reste constamment entre ses repères : on est alors certain de ce que l'axe de rotation du système est vertical.

On amène l'axe optique sur la ligne de foi d'une mire tenue à 50 mètres ; on enlève la lunette de ses étriers, on la retourne *bout pour bout* (mais pas sens dessus-dessous) et on la replace sur la traverse (on intervertit la place des collets par rapport aux étriers) ; on fait faire une demi-révolution à la traverse, de manière à ramener l'objectif de la lunette vers la mire ; on s'assure de ce que la bulle ne s'est pas dérangée : l'axe optique doit encore passer par la ligne de foi du voyant.

Dans le cas où l'axe optique ne passerait plus par la ligne de foi du voyant, si la traverse était munie d'une vis de fin calage, comme celle du niveau précédent, qui permet d'abaisser ou d'élever un des étriers, on agirait sur cette vis pour faire prendre à l'axe optique une position moyenne ; mais, dans le niveau type d'Égault, il n'existe pas de moyen de correction. On ne pourra éviter les erreurs qui naîtront du défaut constaté, et qui varient avec la distance de la mire à l'instrument, qu'en se plaçant à égale distance des points à niveler (voir page 177).

Mode d'emploi du niveau d'Égault. — On élimine toutes les erreurs en procédant de la façon suivante :

1° On se place en station à égale distance des points à niveler (méthode depuis le milieu).

2° On fait une première visée en amenant la bulle très exactement entre ses repères. Puis on fait une seconde visée après avoir interverti la position de *toutes les parties* du système : on enlève la lunette des étriers, sur lesquels on la replace après

l'avoir *retournée bout pour bout et sens dessus-dessous* (on intervertit donc non seulement les collets sur les étriers, mais on amène en dessous la génératrice du cylindre de la lunette qui était au-dessus) ; on fait faire à la traverse une demi-révolution, de façon à ramener l'objectif de la lunette sur la mire, on appelle exactement la bulle entre ses repères.

On prend la moyenne des deux hauteurs de mire (méthode de la double observation).

Niveau à fourche de Beaulieu. — Ce niveau, dont on s'est servi pour exécuter quelques-unes des grandes opérations de notre nivellement général, entre autres le raccordement du nivellement belge au nivellement français à Dunkerke et à Mézières, est un instrument dans le genre du niveau d'Égault, avec cette différence caractéristique que les collets sont carrés au lieu d'être cylindriques; le niveau auquel il ressemble le plus est le niveau de Bourdaloue. Voyez *Nivellement général de Belgique,* page 217.

Degré de précision du nivellement.

« Avec de bons niveaux à lunette et des mires bien graduées, » à des distances entre les points successifs atteignant fréquemment, mais ne dépassant pas 200 mètres, ce qui répond à une » distance de 100 mètres environ entre le niveau et la mire, un » opérateur soigneux arrive facilement à connaître, dans une » opération courante, les différences de niveau des points successifs avec une approximation moyenne d'environ 2 millimètres.

» En opérant plus lentement et avec des soins minutieux, on » peut arriver à une approximation moitié plus grande, c'est-à-dire avoir les différences de niveau successives à moins de » 1 millimètre près. » *(Lever des plans,* Durand-Claye.)

Voyez aussi, page 222, *Nivellement général de Belgique.*

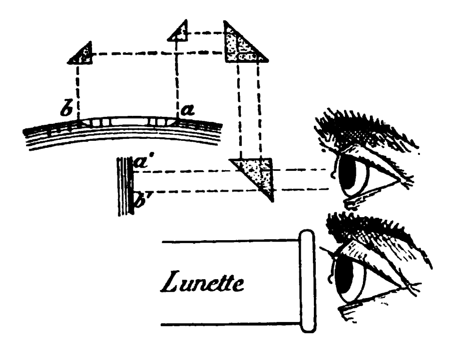
Nivellement de haute précision.

Dans les opérations d'un nivellement général, on ne néglige aucune précaution scientifique pour éliminer autant que possible

toutes les erreurs; on introduit dans les calculs des corrections dont l'examen sort des limites du cadre de notre cours.

Aujourd'hui, on fait usage de mires très perfectionnées, telle que la *mire à compensation* du colonel Goulier (sa description nous prendrait trop de temps).

On emploie des niveaux pourvus de lunettes puissantes (grossissement = 25); des fioles très sensibles; des prismes qui permettent à l'opérateur de voir la bulle sans déranger la position de ses pieds.



Ce dernier perfectionnement est fort important, car la cause principale d'erreurs provenait de la difficulté de maintenir la bulle entre ses repères lorsqu'on changeait de position autour de l'instrument : la compression du sol, produite par le poids du corps, dérangeait le calage. De plus, les prismes permettent de voir la bulle de haut en bas, ce qui donne plus de précision à l'observation; enfin, ils permettent de surélever de beaucoup l'instrument sur son pied, d'éloigner ainsi le rayon visuel du sol et de diminuer, par conséquent, les effets des réfractions et des ondulations.

La disposition des prismes est telle qu'il est impossible de confondre les traits de repères; de là, suppression d'erreurs fréquentes et importantes dans le calage. L'opérateur peut vérifier le calage *immédiatement avant* de faire la lecture sur la mire et s'assurer *aussitôt après* cette lecture de ce que la bulle ne s'est pas dérangée.

Les instruments reposent sur de solides supports, dont les plateaux sont pourvus d'un niveau sphérique et d'une articulation à calotte sphérique, analogue à celle de la planchette Goulier, ce qui permet d'enfoncer les pieds jusqu'à refus et de rendre ensuite le plateau horizontal.

NIVELLEMENT GÉNÉRAL DE BELGIQUE.

Méthode de nivellement et description des instruments.

« La méthode adoptée par le Dépôt de la Guerre pour procéder au nivellement de base est la méthode depuis le milieu; ce procédé rend les résultats indépendants des erreurs instrumentales et de la réfraction; cependant, dans les terrains accidentés, pour ne pas rendre les opérations trop longues, on a dû quelquefois s'écarter de ce principe et prendre des différences assez grandes entre les distances des mires dans leur position en arrière et en avant de l'instrument.

» Trois niveaux ont été employés pour les opérations du nivellement général; ce sont :

» 1° Le niveau cercle à plateau de LENOIR auquel nous avons apporté toutes les modifications indiquées par l'expérience. On a donné à la lunette une puissance optique plus forte, le niveau a été recouvert d'un parasol pour le préserver des rayons solaires et l'on a fixé au plateau des agrafes, qui permettent de maintenir le niveau et la lunette sur le plateau pendant le transport de l'instrument d'une station à la suivante. L'objectif de la lunette a 0m,035 de diamètre et 0m,335 de longueur focale, quand on observe à une distance de 1000 mètres. L'oculaire a 0m,018 de foyer, d'où il résulte que le grossissement de la lunette est de 18,6. La fiole du niveau est divisée de deux millimètres en deux millimètres, le parcours de la bulle dans un de ces intervalles correspond à un arc de 20 secondes, ce qui donne, pour une distance de 100 mètres, une différence de hauteur de 0m,010397.

» 2° Le second instrument que nous avons employé est le grand niveau à fourche de BEAULIEU, ingénieur mécanicien à Bruxelles; son objectif a 0m,045 de diamètre, sa longueur focale prise comme ci-dessus est de 0,m495, l'oculaire a un foyer de 0m,0203, le grossissement de la lunette est de 24,3 fois. Les divisions de la fiole du niveau, qui sont de 0m,002, correspondent à un arc de cercle de 15 secondes sexagésimales.

» 3° Nous avons également employé en cas d'urgence le niveau de BRUNNER; c'est un excellent instrument, il donne une grande précision; le diamètre de l'objectif est de 0m,035, le grossissement de la lunette est de 24 fois. La fiole du niveau est également divisée de 0m,002 en 0m,002, chaque division correspond à un arc de 10 minutes sexagésimales.

» En comparant la fiole du niveau cercle à plateau avec celles qui sont employées pour les deux autres instruments, on peut se demander le motif pour lequel nous n'avons pas employé un niveau plus sensible pour le premier de ces instruments et l'on pourrait craindre que cette fiole ne soit une cause d'erreurs dans les opérations.

» L'expérience m'a démontré que le niveau à plateau ne comportait pas

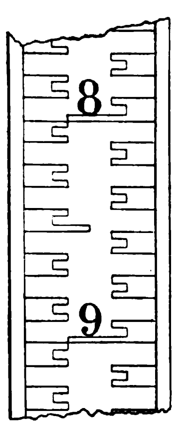
de fioles trop sensibles, parce que la moindre poussière interposée entre les parties frottantes, produit ordinairement des déplacements qui inquiètent l'opérateur sans nécessité et le porte à vouloir une exactitude qui n'est pas dans l'essence de l'instrument.

» D'autres éléments ont également une influence sur les niveaux, ce sont : 1° la compressibilité du sol, 2° les variations de température, 3° l'effet des rayons directs du soleil sur l'instrument et 4° la réfraction atmosphérique, réfraction qui est très considérable, quand le soleil donne fortement à la surface du sol. La compressibilité de la terre se fait surtout sentir pendant la gelée et le dégel. Cette cause d'erreurs a beaucoup entravé les opérations du nivellement général du levé des environs d'Anvers.

» Je crois que les niveaux trop sensibles ne sont pas ceux que l'on doit toujours rechercher, mais il faut choisir un niveau qui soit en rapport avec l'exactitude que l'on désire obtenir et en même temps avec le climat du pays où l'on opère. Je suis d'avis que les fioles de niveau qui conviennent le mieux au climat de la Belgique sont celles qui donnent un arc de 20 secondes pour le niveau à plateau et de 15 secondes pour les niveaux à collets.

» Les premiers nivellements faits par le Dépôt de la guerre ont été exécutés avec la mire à tringle; cette mire donne des résultats peu satisfaisants à cause de la difficulté que l'on éprouve à la maintenir verticale, quand on lève le voyant à plus de deux mètres et à cause de la trop grande flexibilité de la tringle.

» Pour parer à ces inconvénients, nous avons fait construire des mires parlantes. Ce sont des perches en bois de sapin très sec de quatre mètres de hauteur, de neuf centimètres de largeur et de quinze millimètres d'épaisseur; des rebords de 7 millimètres préservent la peinture de tout frottement. Pour la facilité du transport, les perches ont été divisées en deux parties qui peuvent se déplier au moyen de charnières; la mire dépliée est maintenue verticale, au moyen de deux forts verrous. Chacune des parties est renforcée sur sa face postérieure par une forte nervure de 0m,025 de largeur sur 0,03 de hauteur; deux poignées, fixées à la face postérieure et à un mètre du pied, permettent de la maintenir en position. On rend la mire verticale au moyen d'un pendule métallique adapté à l'un des côtés. La face antérieure est partagée en divisions de 0m,010 de haut, les divisions impaires peintes en rouge, les divisions paires peintes en bleu, chacune de ces divisions est partagée en trois parties; les divisions supérieures et inférieures ont 0m,003 d'épaisseur, la partie du milieu en a quatre. Les divisions indiquant les dizaines sont marquées en prolongeant leur partie supérieure jusqu'aux 2/3 de la largeur de la mire et les divisions 5, 15, 25, etc., se distinguent en prolongeant leur partie supérieure peinte en rouge jusqu'au milieu de la largeur de la mire.



» Une petite mire de $1^m,50$ de haut s'enchâsse dans une rainure pratiquée sur le côté, dans l'épaisseur de la perche; cette petite mire, divisée comme la grande, servait à remplacer cette dernière quand on ne pouvait la placer en position, par exemple : sur un seuil de porte ou de fenêtre et principalement pour le point de départ et d'arrivée. Les mires étaient divisées, au Dépôt de la Guerre, au moyen d'un compas à verge parfaitement étalonné, par un officier sérieux et très consciencieux M. le capitaine d'infanterie Smal; un ouvrier peintre très habile les mettait en couleur en présence de cet officier. Elles étaient ensuite vérifiées, au moyen du compas à verge, auquel on donnait une ouverture d'un mètre; après avoir vérifié cette ouverture sur l'étalon, on la présentait sur toutes les divisions et sur toutes les subdivisions de la mire. Je me suis présenté plusieurs fois à l'Observatoire royal de Bruxelles pour y faire étalonner nos mires, mais le directeur, M. Quetelet, a toujours refusé de faire cette opération.

» Ces mires nous ont donné de très bons résultats, cependant, dans la crainte que l'usure de l'articulation ne produisît des erreurs, nous avons jugé prudent de faire construire des mires d'une seule pièce, de $3^m,40$ de hauteur et du même modèle que les précédentes; la nervure s'étend sur toute la longueur de la perche, le pendule a été remplacé par un niveau circulaire à tabatière; le niveau peut se caler au moyen d'un fil à plomb, que l'on suspend sur le côté de la mire, pendant que l'on règle le niveau. Cette dernière mire est plus légère que la première et elle donne plus de garantie sur sa verticalité pendant les opérations.

» Les mires employées par le Dépôt de la Guerre présentent une grande supériorité sur les mires à tringle et sur la mire à articulation, elles donnent non seulement plus d'exactitude dans le nivellement, mais elles permettent encore plus de rapidité dans les opérations; elles ont le grand avantage de rendre l'opérateur indépendant des porte-mires. Ces derniers doivent concentrer toute leur attention sur le niveau, afin d'amener et de maintenir constamment la bulle dans ses repères.

» Quand on opère, la mire repose sur une petite plaque en fer de fonte que l'on fixe sur le sol; un bouton, adapté au talon de la mire, entre dans une gaîne pratiquée au centre de la plaque, ce qui permet de retourner la mire sans la changer de position. »

Résumé des instructions imposées aux officiers.

Voici quelles étaient les dispositions principales :

« 1° L'opérateur devait travailler avec deux porte-mires afin de rendre pour ainsi dire instantanées les opérations faites en arrière et en avant de l'instrument et de s'affranchir des causes d'erreurs produites par les variations de température.

» 2° Il devait se placer à égale distance des deux mires; pour atteindre autant que possible cette égalité en terrains accidentés, le porte-mire avant



prenait position dans la campagne à droite ou à gauche de la route, quand on gravissait une rampe; dans les descentes, l'opérateur prenait lui-même sa station à droite ou à gauche de la route. Dans les terrains horizontaux, les deux distances entre l'opérateur et les porte-mires étaient de cent pas au maximum, car la pratique démontre que, même avec un instrument à lunette puissante, on doit procéder par de petites visées, parce qu'on est plus certain, qu'on ne l'est à grandes distances, d'obtenir une coïncidence parfaite du réticule et des lignes qui divisent la mire parlante.

» 3° Les mires devaient être posées sur un talon en fer, solidement fixé au sol, de manière à les maintenir constamment dans la même position, en les faisant pivoter sur leur axe.

» 4° Afin de diminuer les erreurs provenant non seulement des distances inégales des mires à l'instrument pour une même station, mais encore les erreurs produites par les imperfections de nos instruments et par la lecture et l'inscription des observations, nous avons fait niveler à double tous les cheminements du nivellement général; nous aurions beaucoup désiré faire ce qui s'est pratiqué en France : doubler et même tripler ces deux cheminements, mais les exigences du service, comme nous l'avons indiqué page 26, nous ont empêchés d'adopter cette excellente manière de procéder.

» 5° Il était prescrit d'adopter la forme polygonale pour tous les cheminements et de recouper l'intérieur des polygones par des traverses. Un officier, le plus expérimenté parmi ceux qui étaient employés à ce travail, était chargé du nivellement des périmètres de polygone, un ou deux officiers par polygone nivelaient les traverses.

» 6° Il était prescrit de diriger les cheminements des périmètres le long des lignes des chemins de fer et des canaux, en cas de nécessité par les routes les moins accidentées. Les traverses devaient suivre les chemins vicinaux, qui relient les villages entre eux, à l'effet de permettre de fixer des cotes de niveau au centre de chacune des communes du Royaume. L'opérateur devait choisir de préférence les chemins présentant les rampes et les pentes les plus faibles, sans avoir égard aux distances à parcourir.

» 7° L'officier devait prendre, autant que possible, des repères de kilomètre en kilomètre et les fixer de préférence sur les bornes milliaires, sur les tablettes de ponts, de viaducs et d'aqueducs, sur le seuil des portes d'églises, de chapelles, de maisons communales, de maisons d'écoles, d'hôtels de ville, d'édifices publics et de maisons particulières solidement bâties, enfin à toutes les stations de chemins de fer. Il était aussi ordonné de recouper les repères déterminés par d'autres administrations, afin d'en vérifier leur cote.

» 8° Les mires, placées sur leur talon, étaient rendues verticales au moyen du niveau à tabatière. Le niveau était vérifié tous les jours avant de commencer le travail; on se servait pour cette opération du fil à plomb. Les porte-mires étaient des soldats pris dans le régiment de grenadiers; ils étaient choisis parmi les plus intelligents et les plus consciencieux.



» 9° La correction de la collimation de l'axe optique, du défaut de parallélisme entre l'axe de figure et l'axe optique de la lunette provenant de l'inégalité des tourillons ou des collets pour le niveau à plateau, enfin la correction de l'erreur du niveau était faite au commencement et à la fin de chaque journée de travail. La méthode adoptée et prescrite aux officiers pour les opérations à exécuter permettait d'avoir l'instrument constamment réglé et de s'apercevoir, à chacune des stations, s'il s'était dérangé pendant son transport d'une station à la suivante.

» 10° Il était prescrit d'opérer ainsi qu'il suit : l'instrument ayant été réglé et placé en station et après avoir rendu le limbe horizontal, le porte-mire arrière plaçait la mire verticale, au moyen du niveau à tabatière. L'observateur visait sur la mire arrière; après la lecture et l'inscription de cette première observation, il dérangeait la lunette et la ramenait ensuite sur la même mire pour faire une seconde observation; si la différence entre les deux visées ne dépassait pas un millimètre, on les considérait comme étant bonnes; l'opérateur retournait ensuite la lunette, en lui faisant faire un demi-tour sur son axe, il répétait sur la mire arrière les opérations faites dans la première position de la lunette et, si elles étaient reconnues bonnes, il prenait pour la valeur du coup arrière la moyenne des quatre observations. L'officier visait ensuite sur la mire avant, sur laquelle il répétait les quatre observations faites sur la mire arrière. Si, pendant ces huit visées, l'instrument ne s'était pas dérangé et si la bulle du niveau était restée dans les mêmes repères, l'opération faite à cette station était admise et l'opérateur ainsi que le porte-mire arrière se portaient en avant, pour aller prendre une nouvelle station où ils procédaient comme à la station précédente.

» Cette manière d'opérer permettait de s'assurer à chaque station si l'instrument ne s'était pas dérangé; elle avait encore pour avantage de rendre pour ainsi dire instantanées les observations faites en arrière et en avant de l'instrument. Pour mieux atteindre ce dernier but, nous avons essayé de faire, après la première visée sur la mire arrière, une première visée sur la mire avant, puis la seconde visée sur la mire arrière, ensuite la seconde visée sur la mire avant; après le retournement de la lunette, on procédait de la même manière pour les quatre dernières opérations. Il est évident que cette méthode rend plus instantanées encore les observations faites en arrière et en avant de l'instrument, mais elle est sujette à occasionner des erreurs dans l'inscription des observations, elle peut aussi déranger l'instrument par la rotation continuelle que l'on fait faire à la lunette, elle est impraticable quand on opère avec le niveau à plateau.

» 11° La vérification des opérations du nivellement général est très difficile; pour exécuter ce travail de précision, il faut choisir des officiers calmes, sérieux, ayant l'amour du métier et dans lesquels on peut avoir la plus grande confiance.

» La méthode employée en France me semble donner une grande garantie dans l'exactitude des résultats. On y faisait niveler toutes les lignes trois fois par deux opérateurs observant indépendamment l'un de l'autre et à des

époques différentes, ce qui donnait six nivellements pour la même ligne; il leur était prescrit d'envoyer journellement au directeur des travaux le travail fait dans la journée.

» Pour les motifs que j'ai déjà indiqués, il nous était impossible de suivre cette méthode; nous n'avions ni le temps ni l'argent nécessaires.

» Voici quelles ont été les garanties prises pour la vérification de notre nivellement :

» *a)* Nous avons fait niveler à double toutes les lignes du nivellement du premier et du second ordre.

» *b)* Quelques jours avant l'arrivée de l'opérateur au point de fermeture du périmètre du polygone, le chef de la section topographique se rendait sur le terrain pour accompagner l'officier dans ses opérations et assister à la fermeture du cheminement, afin de pouvoir apprécier le degré d'exactitude du travail et de décider si l'opération était dans les limites d'un bon nivellement ou si elle devait être recommencée.

» *c)* Le chef de la section topographique communiquait aux officiers chargés du nivellement des traverses la cote affectée au point de départ; ils ignoraient la cote du point d'arrivée. La fermeture des traverses était encore un contrôle pour apprécier le nivellement du périmètre.

» *d)* La rencontre des traverses entre elles était un contrôle pour la vérification de ces lignes de nivellement; le chef de la section topographique indiquait les repères qui devaient être recoupés; souvent il communiquait leur cote verbalement et assistait à cette vérification.

» *l)* Tout cheminement formant un périmètre de polygone et présentant une erreur de fermeture dépassant $0^m,004 \times \sqrt{K}$ (K étant le nombre de kilomètres contenus dans la distance parcourue), devait être recommencé. La tolérance pour les traverses était plus grande, l'erreur tolérée était en rapport avec l'importance de ligne nivelée. Les traverses étant des lignes secondaires appartenant au nivellement de second ordre, on pouvait admettre une erreur de fermeture assez grande dont le maximum pouvait dépasser cinq millimètres par kilomètre. Voici la formule adoptée pour répartir l'erreur par kilomètre, $\frac{\varepsilon}{2\sqrt{K}}$; l'erreur de fermeture étant ε et K la distance parcourue.

» *m)* .... *n)* .... »

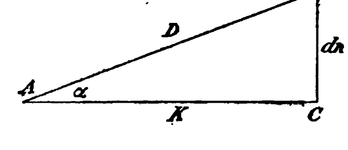
(*Notice sur les travaux topographiques exécutés au Dépôt de la Guerre de Belgique*, par M. le colonel d'État-major en retraite Jules Henrionet, autographiée en 1876.)

« Dans les nivellements de précision, commencés en 1889 et terminés » sur le terrain en 1891, l'Institut cartographique militaire a employé les » instruments perfectionnés de feu le colonel Goulier et la méthode ainsi » que les procédés de calcul de M. Ch. Lallemand, ingénieur en chef du » Nivellement général de la France. » (Extrait de la *Notice sur les documents et objets exposés en 1894, à Anvers*. Pour plus de renseignements, voyez cette notice, pages 16 et suivantes.)



Nivellement par l'angle de pente. — Éclimètres.

Si l'on connaît AB, la distance qui sépare deux points A et B du terrain, et l'angle α que fait la ligne AB qui les unit avec un plan horizontal, on a



$$BC = AB \sin \alpha.$$

$BC = dn$ est la différence de niveau entre A et B.

On mesure AB à l'aide d'un diastimètre, comme nous l'avons vu, et l'angle de pente α au moyen d'un éclimètre.

Un *éclimètre* (clisimètre ou niveau de pente) est donc un instrument qui permet de mesurer les angles de pente.

En planimétrie, nous avons été amené à réduire AB à l'horizon.

$$K = AB \cos \alpha.$$

Pour que les opérations de l'altimétrie reposent sur les mêmes données que celles de la planimétrie, nous n'employons pas d'habitude, dans les nivellements, la relation $dn = AB \sin \alpha$, mais la relation

$$dn = K \, tg \, \alpha \text{ ou } K \cot (100^{g} \pm \alpha)$$

L'éclimètre, actuellement [1], se compose essentiellement d'un niveau à bulle d'air ; d'une portion de limbe, ou mieux d'un limbe entier gradué, et d'une lunette montée sur une alidade tournant autour d'un axe perpendiculaire au limbe et passant par son centre. (Figure, page 224.)

La lunette est fixée solidement sur l'alidade *avec laquelle elle fait corps*, son axe optique est parallèle au rayon passant par le zéro du vernier de l'alidade.

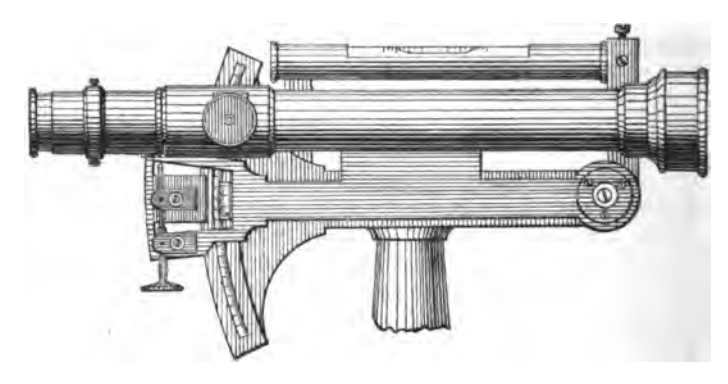
Le niveau à bulle d'air est *fixé sur le limbe* de telle façon que, quand la fiole est réglée et la bulle entre ses repères, le rayon initial du limbe est horizontal.

---

[1] Le temps nous fait défaut pour parler des anciens éclimètres.

Lorsque le zéro du vernier est en coïncidence avec la division initiale du limbe (0 ou 100) et que la fiole est calée, l'axe optique de la lunette est donc horizontal.

L'éclimètre fait d'habitude partie d'un autre instrument, tel



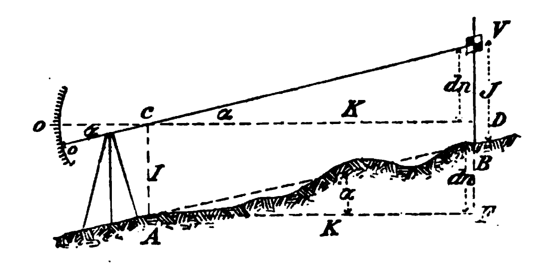
qu'un tachéomètre, une boussole (p. 125), un théodolite (sous le nom de cercle vertical) ; il est soudé à cet instrument et relié par lui à la tête d'un trépied qui sert de support commun. Le système entier peut faire un tour d'horizon autour d'un axe reposant sur la tête du trépied par des vis calantes, au moyen desquelles on peut rendre cet axe vertical. Lorsque l'axe de l'instrument est vertical, le plan du limbe, par construction, doit être vertical et l'axe de la lunette doit se mouvoir dans un plan vertical.

Opérations. — L'éclimètre étant en ***station*** [1] en A et le niveau calé, on amène le zéro du vernier en coïncidence avec le zéro du limbe, on place la ligne de foi du voyant mobile d'une mire à hauteur du milieu de l'objectif de la lunette et l'on fixe le voyant à cette hauteur au moyen de la vis de pression du bracelet; puis, l'aide tenant la mire verticalement en B, le topographe amène l'axe optique de la lunette sur la ligne de foi du voyant (vise donc parallèlement à la ligne AB qui unit les points A et B du terrain).

Voyez *Mise en station au point* A, chap. II du *Programme du levé à la Boussole-éclimètre.*



Après s'être assuré de ce que la fiole est toujours calée



(la bulle entre ses repères), le topographe lit l'angle de pente α au zéro du vernier.

$$VD = BF = dn = K\, tg\, \alpha.$$

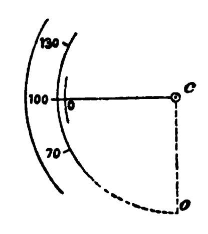
Le limbe est divisé en degrés ou en grades : en grades ordinairement dans les instruments que l'on construit actuellement.

Nos anciens éclimètres à lunette sont du type que nous venons de décrire, les degrés sont comptés dans les deux sens, à partir de la division initiale 0 indiquant l'horizontale. Les instruments dont le limbe est ainsi divisé portent plus spécialement le nom de ***niveaux de pente***.

Cette graduation, dans les deux sens, présente deux inconvénients très sérieux.

1° Elle exige un vernier gradué dans les deux sens, sinon ce vernier, tantôt additif et tantôt soustractif, devient une source d'erreurs de distraction.

2° Elle oblige l'opérateur à noter, pour chaque observation, si la pente est ascendante ou descendante, et l'oubli d'un signe + ou d'un signe — peut être l'origine d'une erreur qui faussera tout le nivellement.



Il ne faut, autant que possible sur le terrain, ni calculs, ni efforts de mémoire; il faut de l'uniformité et de la simplicité dans les opérations; le topographe doit arriver à exécuter machinalement les opérations courantes.

Aussi, dans les instruments nouveaux, remplace-t-on avantageusement le zéro de la division initiale par le chiffre 100, et fait-on le numérotage du limbe dans un seul sens, de bas en haut (fig. p. 100).

L'instrument donne ainsi, non plus les angles de pente, mais les angles *zénithaux*.

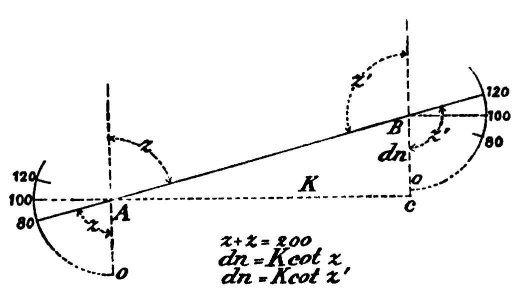
L'angle zénithal, ou distance zénithale, d'une ligne AB, est l'angle que fait cette ligne, vers le ciel, avec la verticale au point A.

z est l'angle zénithal de AB.

z' id. id. BA.

$$z + z' = 200 \text{ grades}$$ [1].

La figure montre suffisamment que, de la façon dont est gradué le limbe, c'est z ou z' qu'on lit au zéro du vernier de l'alidade.



La distance zénithale est donc plus petite que 100 grades lorsque la pente est ascendante et plus grande que 100 grades lorsque la pente est descendante.

Il n'y a plus lieu, pour le topographe, de mentionner ce détail dans son carnet de notes : cette modification est pratiquement fort importante.

La différence de niveau est $Bc = dn = K \cot z$,

ou bien, $dn = K \cot z'$.

Les cotangentes sont égales, mais de signe différent.

---

[1] Deux verticales, menées à une distance de 500 mètres l'une de l'autre, (pour $K = 500$ m. donc), ne font entre elles qu'un angle de $0^g,0050$ (une demi-minute centésimale).



Les divisions du limbe sont habituellement des quarts de grade.

Le vernier des éclimètres des nouvelles boussoles de l'École militaire est formé d'un arc de 24 quarts de grade, divisé en 25 parties, dont le numérotage court dans le même sens que celui du limbe (voir la figure page 100).

Le vernier est par conséquent additif et donne une approximation

$$\frac{p}{n} = \frac{0^g,25}{25} = 0^g,01.$$

L'alidade est reliée au bord du limbe (figure page 224) par une pince, dans l'une des mâchoires de laquelle prend écrou une vis de pression. Une vis de rappel, tournant dans un écrou pratiqué dans la pince et prenant appui sur l'alidade, permet, après le serrage de la pince, d'imprimer encore à l'alidade de légers mouvements angulaires sur le limbe, et de pointer ainsi exactement la lunette.

Pour diriger la lunette sur le voyant d'une mire, on desserre la vis de pression de la pince, on fait mouvoir l'alidade à la main jusqu'à ce que l'axe optique passe *à peu près* par la ligne de foi du voyant; puis, après avoir serré la pince, on achève le pointage au moyen de la vis de rappel (voir l'instrument).

Nos anciennes boussoles portent des éclimètres dont le limbe est du côté de l'objectif et le centre de rotation du côté de l'oculaire : ces éclimètres donnent les angles *nadiraux*, supplémentaires des angles zénithaux.

$$dn = \mathrm{K} \cot n$$

formule qui ne diffère de $dn = \mathrm{K} \cot z$ qu'en ce que le signe de la cotangente est différent.

Quand la distance *nadirale* est plus grande que 100 grades, la pente est donc ascendante; lorsque cette distance est plus petite que 100 grades, la pente est descendante.

Le pointage de la lunette et le maniement de la vis de rappel sont *plus commodes* lorsque les éclimètres donnent les distances

zénithales : c'est le seul motif pour lequel nos nouveaux instruments sont construits pour donner les angles zénithaux.

Conditions de construction. Erreur de collimation.

1° ***Le niveau à bulle d'air doit être réglé.*** — On cale l'instrument dans deux directions perpendiculaires l'une à l'autre au moyen du niveau tel qu'il est, afin de rendre l'axe du système à *peu près* vertical (voir p. 210).

On amène ensuite le niveau dans une direction parallèle à deux vis calantes et la bulle entre ses repères en agissant sur une de ces vis, puis on fait faire *exactement* [1] une demi-rotation au niveau autour de l'axe du système : si le niveau est réglé, la bulle doit revenir entre ses repères.

Si la bulle ne revient pas entre ses repères, on l'appelle vers son milieu, de la moitié de l'écart constaté, au moyen de la vis de réglage de la fiole : le niveau est alors réglé.

Le réglage est assez difficile quand l'instrument a déjà fait quelques campagnes; il faut le recommencer deux ou trois fois pour qu'il soit *satisfaisant*. Il n'est pas nécessaire que le réglage soit *parfaitement* effectué, il vaut même mieux se contenter d'un à peu près et *serrer toutes les vis bien à fond :* on corrige les *angles lus*, comme nous le verrons page 231.

2° ***Le plan de collimation de l'éclimètre doit être vertical lorsque l'instrument est calé.*** — On cale la fiole dans deux directions perpendiculaires entre elles; puis on vise un fil à plomb ou une arête de mur bien nette. La croisée des fils du réticule, lorsque l'on imprime à la lunette un mouvement plongeant, doit rester constamment sur le fil à plomb (voir *Théodolite*, p. 109).

3° ***Le limbe doit être bien divisé et bien centré.*** — La plupart des limbes sont incomplets, les vérifications et les

---

[1] On utilise pour cela les indications de la boussole, dont l'éclimètre fait partie : les azimuts lus, dans les deux positions prises successivement par le niveau, doivent différer de 200 grades. La même division du limbe doit venir alternativement en face de la pointe bleue et de la pointe blanche.



corrections par la double lecture sont donc impossibles. Il faudrait que le limbe fût un cercle entier gradué et que l'alidade portât deux verniers aux extrémités d'un diamètre (voir *Théodolite*).

L'éclimètre, tel qu'il est d'habitude, n'est donc pas un instrument qui offre toutes garanties, aussi ne l'emploie-t-on pas comme tel : si l'on veut niveler avec grande précision, on se sert d'un niveau proprement dit.

Mais, l'éclimètre a, sur les niveaux, l'avantage d'être beaucoup plus rapide, surtout en terrain varié.

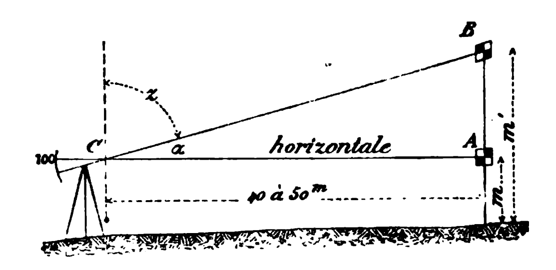
Un exemple suffira pour le faire saisir : supposons deux points à niveler distants de 150 mètres seulement et dont la différence de niveau soit de 25 mètres; ce n'est là qu'une pente de $\frac{1}{6}$, pente maxima des anciennes routes. En admettant que le terrain soit favorable et l'opérateur exercé, on constate qu'il faudra que le topographe fasse *sept stations* au moins s'il emploie un niveau Lenoir ou un niveau de Goulier, tandis que, s'il travaille à l'éclimètre, une seule station et un petit calcul lui donneront la différence de niveau (voir p. 164).

Plus le terrain sera mouvementé, plus l'exactitude de l'éclimètre se rapprochera de celle des niveaux proprement dits dont la précision des opérations est en raison inverse du nombre de stations.

Enfin, les niveaux proprement dits sont d'un emploi à peu près impossible en terrain couvert ou coupé d'escarpements et de ravins.

Vérification indirecte. — Choisir un terrain uni et à peu près horizontal; fixer verticalement, en s'aidant du fil à plomb, une bonne mire contre un mur à une distance de 40 à 50 mètres, distance mesurée avec le plus grand soin à partir de la verticale qui passe par *le centre du limbe de l'éclimètre* en station; placer le trait zéro du vernier en coïncidence *parfaite* avec le trait 100 du limbe; diriger la lunette sur la mire, appeler la bulle du niveau réglé exactement entre ses repères, le voyant mobile par un aide à hauteur de l'axe optique; fixer faire hisser solidement le voyant mobile au moyen de la vis de pression. Pointer la lunette sur la ligne de foi du voyant

supérieur de la mire, *s'assurer de ce que la bulle du niveau est entre ses espères,* lire l'angle zénithal z.



Lire sur la mire, ou mieux mesurer directement, la distance AB = $m' - m$ qui sépare les lignes de foi des deux voyants.

Calculer l'angle α du triangle rectangle CAB, dont on connaît deux côtés.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{AB}{AC}.$$

L'angle α, trouvé par le calcul, doit être égal à $(100 - z)$ *donné par l'éclimètre.*

S'il en est ainsi, on est à peu près certain que l'éclimètre est bien divisé, car la division se fait au moyen de machines travaillant avec une régularité mathématique.

Généralement, lorsque le limbe est mal construit, les divisions sont toutes ou trop grandes ou trop petites, mais sont égales entre elles : on pourrait facilement déterminer la correction à faire par grade au-dessus ou au-dessous de 100 grades, mais il est bien évident qu'on ne se résoudra à cette désagréable, laborieuse et dangereuse besogne, que si l'on ne peut refuser l'instrument.

On pourrait aussi vérifier l'éclimètre en comparant ses indications à celles d'un autre instrument : un bon théodolite par exemple.

Si le théodolite n'avait pas de cercle vertical, on placerait horizontalement le limbe de l'éclimètre sur un pied spécial; on mettrait successivement les deux instruments en station au même point et l'on mesurerait, à l'aide de chacun d'eux, une

série d'angles horizontaux, en pointant des signaux naturels bien définis ou des jalons.

4° ***La fiole étant réglée, l'instrument calé et le zéro du vernier en coïncidence avec la division 100 du limbe, l'axe optique de la lunette doit être horizontal.*** — L'axe optique de la lunette et la directrice du niveau doivent donc être parallèles aux rayons *confondus* du limbe et du vernier quand le zéro du vernier est en coïncidence avec la division 100 du limbe.

L'une ou l'autre de ces conditions, souvent plusieurs, ne sont d'habitude pas mathématiquement remplies : les angles donnés par l'éclimètre sont toujours affectés d'une erreur à laquelle on donne le nom d'*erreur de collimation*.

Cette erreur serait constante, si toutes les pièces de l'instrument dont elle dépend étaient parfaitement assujetties les unes aux autres et si l'instrument ne recevait continuellement des chocs : pratiquement, on admet qu'elle est constante pendant une journée de travail, si l'instrument ne reçoit pas de chocs violents.

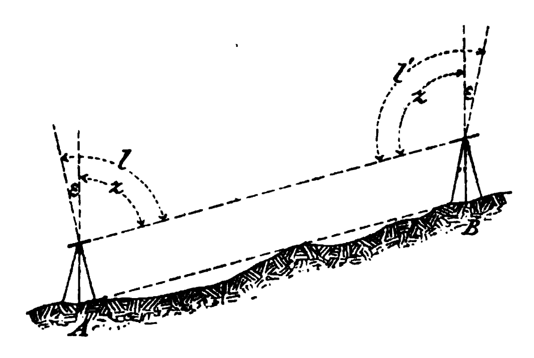
On ne se résoudra à corriger l'instrument, si le constructeur en a ménagé les moyens comme c'est le cas pour nos éclimètres, que si l'erreur est absolument trop forte et dénote un dérangement de l'instrument : c'est une opération délicate sur le terrain et qui, du reste, n'est d'aucune utilité pratique, vu qu'il est aussi facile de tenir compte d'une erreur de 50 minutes que d'une erreur de 2 minutes. On serrera donc les vis de liaison de l'alidade et du limbe et l'on se bornera à rechercher la correction de collimatton $\pm \varepsilon$ qu'il faudra apporter à tous les *angles lus*.

Détermination de l'erreur de collimation. — On choisit (fig. p. 232) une ligne du terrain AB, de 150 à 200 mètres de longueur, (la plus longue possible), légèrement inclinée. On établit l'instrument *en station* en A, on fait arriver le zéro du vernier en coïncidence avec la division 100 du limbe, après avoir calé le niveau. L'aide place ensuite la ligne de foi du voyant mobile à hauteur de l'axe optique de la lunette, hauteur qu'il prend du sol au centre de l'objectif; fixe solidement le voyant à cette hauteur sur le montant de la mire, en serrant la vis de pression, et va tenir la mire verticalement en B.

Le topographe dirige l'axe optique de la lunette sur le milieu

du voyant de la mire (vise donc parallèlement à AB); puis, ***après avoir constaté que la bulle du niveau est encore entre ses repères,*** lit l'angle zénithal au zéro du vernier.

Supposons que l'angle lu soit $l = 99,48$.



L'éclimètre est alors transporté en B et mis en station au-dessus de ce point. Le porte-mire va en A, après avoir placé de nouveau le voyant à hauteur de l'axe optique, comme pour la première opération. Il est nécessaire de replacer le voyant, car les pieds de l'instrument n'étant pas toujours également écartés, ni également enfoncés dans le sol, la lunette n'est pas toujours à la même hauteur au-dessus du point de station.

Même opération en B qu'en A; on lit $l' = 100,62$.

Si l'instrument est exact, $l + l' = 200$ grades.

S'il est affecté d'une erreur ε, comme l'indique la figure, cette erreur sera doublée dans la somme $l + l'$.

En effet,

$$l = z \pm \varepsilon \quad (+\,\varepsilon \text{ dans le cas particulier de la figure})$$
$$l' = z' \pm \varepsilon$$
$$l + l' = z + z' \pm 2\varepsilon$$
$$l + l' = 200 \pm 2\varepsilon$$
$$\pm 2\varepsilon = l + l' - 200$$
$$\pm \varepsilon = \frac{l + l' - 200}{2}.$$

Prenons le cas concret choisi plus haut :

$$\varepsilon = \frac{99,48 + 100,62 - 200}{2} = \frac{0,10}{2} = 0,05.$$

L'erreur de collimation est de 5 minutes centésimales; elle est positive, c'est-à-dire que tous les angles lus seront trop grands de 5 minutes.

On diminuera par conséquent de $0^g,05$ tous les angles lus à l'éclimètre.

La distance zénithale AB est donc $z = 99,48 - 0,05 = 99,43$

La distance zénithale BA $z' = 100,62 - 0,05 = 100,57$

$$z + z' = 200,00$$

On détermine *au moins une fois par jour*, avec le plus grand soin, l'erreur de collimation de l'éclimètre.

Si l'instrument reçoit un choc pendant le travail, on détermine de nouveau l'erreur de collimation et l'on tient note de la nouvelle erreur et de l'incident dans la colonne *observations* du carnet, à hauteur des inscriptions faites pour la station où le dérangement s'est produit. Voyez le *Programme du levé à la boussole-éclimètre,* annexé à cette 2e Partie.

REMARQUE. — La recherche de l'erreur de collimation est plus simple lorsque les éclimètres possèdent un limbe entier ou deux arcs de cercle gradués : pour l'obtenir, on vise la ligne de foi du voyant d'une mire placée à 150 mètres ou 200 mètres, après avoir calé soigneusement le niveau, on lit aux deux verniers; puis, on fait faire une demi-rotation à la boussole autour de l'axe de l'instrument et à la lunette un demi-tour pour ramener son oculaire vers soi, on appelle la bulle entre ses repères, on vise de nouveau la ligne de foi du voyant de la mire, on lit aux deux verniers. La demi-différence des angles zénithaux obtenus est l'erreur de collimation.

Emploi du voyant supérieur de la mire de l'Institut.

Dans les nivellements qui n'exigent pas que l'on prenne de grandes précautions, on se dispense parfois de viser parallèlement au sol, c'est-à-dire de placer au préalable le voyant à hauteur de l'axe optique de la lunette.

La lunette servant de diastimètre, et les hauteurs de mire se lisant à partir de la ligne de foi du voyant supérieur, c'est ce voyant supérieur qu'on pointe immédiatement : on évite ainsi un double pointage et l'on gagne du temps (voir pages 58, 80 et 237).

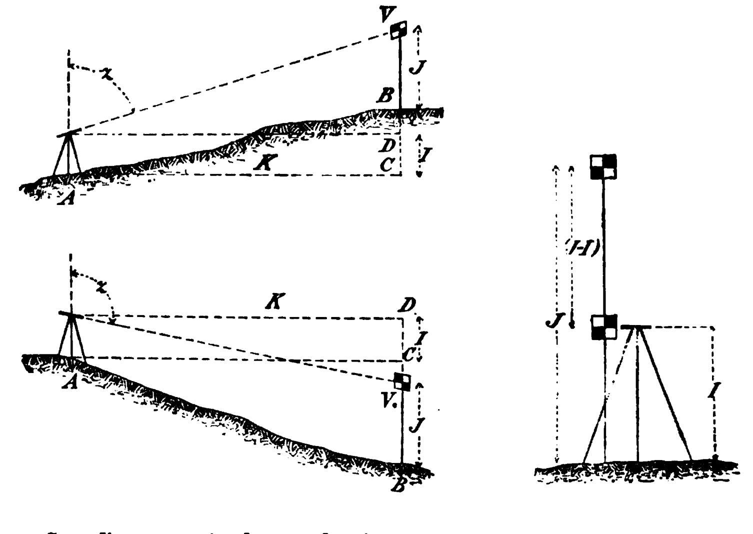


Seulement, en opérant de cette façon, le voyant supérieur de la mire étant plus élevé que l'éclimètre sur son pied, on lit un angle zénithal trop petit ; ce qui donne une différence de niveau trop grande lorsque la pente est ascendante et trop faible lorsque la pente est descendante [1].

Il faut donc, dans la formule $dn = K \cot z$, introduire une correction.

Cas d'une pente ascendante. — Soient J la hauteur de la ligne de foi du voyant de la mire au-dessus du sol et I la hauteur de l'axe optique de l'instrument au-dessus du point de station.

$$dn = BC = VD + I - J = K \cot z - (J - I).$$



Cas d'une pente descendante. —

$$dn = BC = VD + J - I = K \cot z + (J - I).$$

---

[1] La ligne de foi du voyant supérieur de la mire de l'Institut est à $2^m,35$ au-dessus du sol, la lunette de l'éclimètre n'est généralement pas à plus de $1^m,30$ au-dessus du point de station pour un topographe de taille moyenne.

Pour avoir (J — I), la mire de l'Institut étant graduée à partir de la ligne de foi du voyant supérieur en descendant, il suffit de placer la ligne de foi du voyant mobile à hauteur de l'oculaire de la lunette, lorsque l'instrument est calé et l'axe optique horizontal, et de lire à l'index du bracelet.

On mesure (J — I) à chaque station (et on l'inscrit dans son carnet), avant d'envoyer le porte-mire au sommet sur lequel on va pointer (voir le *Carnet d'inscriptions du nivellement* et l'annexe D du *Programme du levé à la boussole-éclimètre).*

Calcul de* dn *par la table des cotangentes naturelles. — Voyez l'annexe E du *Programme du levé à la boussole-éclimètre,* à la fin de cette 2e partie.

La *Table des cotangentes naturelles,* en usage à l'École militaire, fait suite au *Programme;* c'est une réduction de la table établie jadis par le *Dépôt de la guerre,* pour les officiers qui ont levé les planchettes de la carte au 20.000e.

Remarque importante. — Nous avons dit que :

Si la pente est descendante, $dn = \text{K} \cot z + (\text{J} - \text{I})$.

Si la pente est ascendante, $dn = \text{K} \cot z - (\text{J} - \text{I})$.

Mais, quand la pente est-elle descendante?

Le voyant supérieur de la mire est à 2ms55 au-dessus du sol, tandis que l'éclimètre n'est qu'à 1m40 au plus au-dessus du point de station, ce qui fait qu'il arrive souvent, lorsque la pente descendante est faible, que l'éclimètre donne une distance zénithale plus petite que 100 grades, *indique donc en apparence une pente ascendante du terrain, bien qu'en réalité la pente soit descendante.*

Faut-il, dans ce cas, retrancher (J — I) ou bien l'ajouter à K cot z? Quel est le moment précis où il faut changer de formule?

En pratique, pour le calcul de dn, nous employons :

La formule $dn = \text{K} \cot z + (\text{J} - \text{I})$ quand $l \pm \varepsilon = z$ est > 100 grades.

La formule $dn = \text{K} \cot z - (\text{J} - \text{I})$ quand $l \pm \varepsilon = z$ est < 100 grades.

Si la pente est descendante, malgré que z est < 100 grades, K cot z sera $<$ (J — I), et la valeur de dn, donnée par la formule K cot z — (J — I), sera négative.



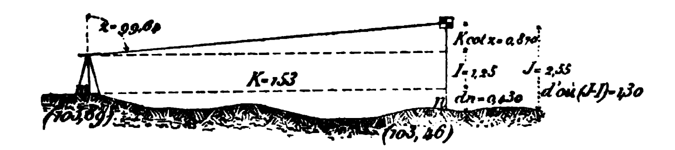
Exemple. — Opérations du point de station m sur le point n.

$K = 153{,}00$	$I = 99{,}60$	$dn = K \cot z - (J - I)$.
$(J - I) = 1{,}30$	$\varepsilon = 0{,}04$	
	$z = 99{,}64$	

$$K \begin{cases} 100. \;.\;.\; 0{,}57 \\ 50. \;.\;.\; 0{,}283 \\ 3. \;.\;.\; 0{,}017 \end{cases}$$

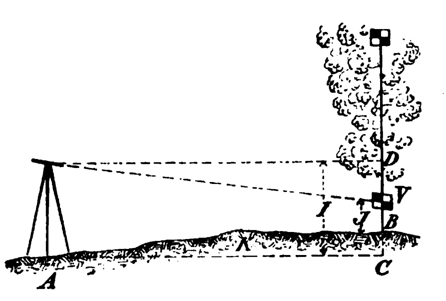
$$K \cot z = 0{,}870$$
$$-(J - I) = -1{,}30$$
$$-dn = -0{,}43$$

cote de m = 103,89
— dn = — 0,43
cote de n = 103,46



Si l'éclimètre donne exactement $z = 100$, il n'y a pas de doute possible, la pente est descendante et la différence de niveau est précisement égale à (J — I).

Cas spéciaux. Il peut arriver que l'on ne puisse apercevoir ni le voyant supérieur de la mire, ni le voyant mobile à hauteur de l'instrument, que la partie inférieure de la mire, soit seule visible : si des branches d'arbre cachent une partie de la mire par exemple. On descend alors le voyant mobile aussi bas qu'il est nécessaire et l'on pointe la lunette sur ce voyant.



On mesure la hauteur J *exceptionnelle* de la mire.

Ce cas est assez rare; lorsqu'il se présentera, il faudra l'étudier attentivement, surtout si le terrain est à peu près horizontal.

Dans l'exemple de la figure ci-dessus,

$$dn = BC = I - (DV + J) = (I - J) - K \cot z.$$

Observations. Malgré les avantages d'une mire à voyant très élevé et le gain de temps que l'on réalise en faisant un seul pointage, (sur le voyant supérieur), nous sommes d'avis qu'il faut se donner la peine de placer le voyant à hauteur de l'axe optique de la lunette dans les coups de niveau qui servent à déterminer les cotes des sommets du polygone de base et des traverses, chaque fois que les ondulations du terrain ou les détails répandus sur sa surface n'obligent pas à pointer sur le voyant supérieur. On visera donc parallèlement au sol [1] pour établir le canevas du nivellement.

En voici les motifs :

1° On évite d'introduire le correctif (J — I) dans les calculs.

On se sert simplement de $dn = K \cot z$.

On ne risque pas de se tromper de signe pour ± (J — I), ce qui arrive malheureusement souvent par distraction.

2° Si l'on veut se donner la peine de prendre la distance zénithale réciproque, on se ménage une vérification que l'on n'a pas en visant le voyant supérieur.

On peut alors constater matériellement que l'on ne s'est pas trompé dans la mesure de l'angle zénithal de la station précédente :

Car $$l + l' = 200 \pm 2\varepsilon.$$

Or, l'expérience prouve que l'on se trompe *fréquemment* dans la mesure des angles zénithaux : que l'on commet des erreurs de lecture d'abord, mais surtout des erreurs causées par l'oubli de s'assurer, avant de faire les lectures, de ce que le niveau de l'éclimètre est resté calé. (Le niveau se dérange pendant les opérations du pointage).

3° Si l'erreur de collimation varie, on s'en aperçoit.

Il vaut infiniment mieux, selon nous, employer une demi-journée de plus à lever le canevas du nivellement, que de risquer de devoir le recommencer. En faisant des visées réciproques, on marche avec sûreté; en visant le voyant supérieur, on n'a aucune garantie, on marche dans l'incertitude jusqu'à la fermeture du polygone.

---

[1] Parallèlement au sol n'est pas exact, mais c'est une expression reçue.



Pour les rayonnements et le nivellement des détails, on peut pointer sur le voyant supérieur pour gagner du temps.

Les registres et les cahiers de calculs de l'École militaire sont établis dans l'hypothèse que l'on visera toujours le voyant supérieur de la mire de l'Institut : il suffit de ne rien inscrire dans la colonne (J — I) du registre, ou mieux d'y tracer un trait horizontal, lorsque l'on visera parallèlement au sol. On inscrira aussi, dans ce cas, la distance zénithale réciproque et l'erreur de collimation. Voyez le *Registre,* annexe D du *Programme du levé à la boussole-éclimètre,* et l'annexe E de ce programme, à fin de cette 2e Partie.

Théorie sommaire et emploi des abaques.

Lorsqu'il s'agira de déterminer les différences de niveau exclusivement pour le tracé des courbes hypsométriques, on se servira avec grand avantage des *abaques* construits, pour les levés exécutés par l'École de guerre, par M. le capitaine d'infanterie Goedseels, professeur de topographie à cette école.

Pour le canevas des opérations, les différences de niveau seront *calculées* et les résultats des opérations *chiffrées* seront contrôlés à l'aide des abaques.

La théorie complète des calculs effectués au moyen des abaques se trouve exposée dans un ouvrage intitulé *Nomographie,* par Maurice d'Ocagne [1]. Cette théorie repose sur la connaissance de la Géométrie analytique. Les quelques mots que nous en dirons ici s'adressent aux personnes qui ne sont pas familiarisées avec cette branche des sciences mathématiques. Nous prendrons pour exemple le calcul des valeurs d'un produit p, donné par la relation

$$p = K \cot z \qquad (1)$$

ou

$$\log p = \log K + \log \cot z. \qquad (2)$$

---

[1] Librairie Gauthier-Villars, Paris.

Néanmoins notre raisonnement s'applique à trois nombres quelconques p, K et z, liés par une équation de la forme

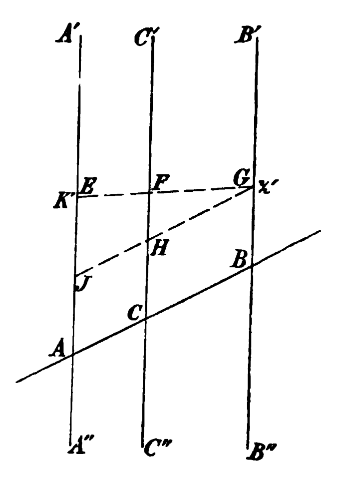
$$F(p) = f_1(K) + f_2(z) \qquad (3)$$

dans laquelle $F(p)$ désigne une fonction quelconque de p; $f_1(K)$ une fonction quelconque de K; $f_2(z)$ une fonction quelconque de z.

Lorsqu'on voudra utiliser ce qui va suivre pour le calcul d'une quantité quelconque p, qui dépend de deux autres K et z, on devra donc chercher à mettre la relation qui existe entre p, K et z sous la forme (3).

C'est ainsi, qu'en passant des nombres aux logarithmes, nous avons transformé la relation (1) en une relation (2) de la forme (3).

Soient deux parallèles indéfinies A″A′ et B″B′, coupées par la transversale AB.



Divisons les diverses valeurs de *log* K par un facteur quelconque a, représentons les quotients ainsi obtenus par des droites à une échelle quelconque E et portons-les sur la droite A″A′ à partir du point A, dans le sens AA′ pour les valeurs positives du quotient et dans le sens AA″ pour les valeurs négatives.

Divisons les diverses valeurs de *log cot* z par un facteur quelconque b, et portons les quotients sur B″B′, à partir de B, dans le sens BB′ pour les quotients positifs, et dans le sens BB″ pour les quotients négatifs; l'échelle étant E, la même que pour les quotients de *log* K par a.

Divisons la droite AB en deux parties AC et CB respectivement proportionnelles à b et à a. Menons par le point C une droite C′C″ parallèle à A′A″ et à B′B″.

Enfin, portons sur la droite C′C″, à partir du point C, les distances qui représentent les diverses valeurs de $\frac{\log p}{a + b}$ à

l'échelle E, et marquons à côté de chacune des extrémités des distances portées sur les trois parallèles les valeurs correspondantes de K', z', p'.

Nous aurons ainsi trois échelles graduées qui formeront un abaque.

Pour avoir la valeur p' de p qui correspond à des valeurs K' et z' de K et de z, il suffira de tendre un fil depuis le point E, où se trouve la graduation K', jusqu'au point G, où se trouve la graduation z', et de lire la graduation F à l'intersection du fil et de la parallèle C'C''.

Pour le démontrer, nous allons prouver que

$$CF = \frac{\log p'}{a+b}.$$

Nous avons :
$$CF = CH + HF$$
$$CH = BG = \frac{\log.\cot z'}{b}$$
$$\frac{HF}{JE} = \frac{HG}{JG} = \frac{CB}{AB} = \frac{a}{a+b} \text{ par construction,}$$

d'où
$$HF = JE \times \frac{a}{a+b}$$

Mais,
$$JE = AE - AJ = \frac{\log K'}{a} - \frac{\log \cot z'}{b},$$

donc
$$HF = \left[\frac{\log K'}{a} - \frac{\log \cot z'}{b}\right] \frac{a}{a+b}$$
$$CF = CH + HF = \frac{\log \cot z'}{b} + \left[\frac{\log K'}{a} - \frac{\log \cot z'}{b}\right] \frac{a}{a+b}$$

Si nous effectuons les opérations, nous trouvons :

$$CF = \frac{1}{a+b} (\log K' + \log \cot z'),$$

or,
$$\log p' = \log K' + \log \cot z', \quad \text{relation (2)}$$

donc
$$CF = \frac{1}{a+b} \log p' = \frac{\log p'}{a+b}$$

c. q. f. d.

REMARQUES. — I. Dans la construction des abaques, on ne représente les valeurs de K, z et p que de distance en distance, d'une manière suffisamment rapprochée pour qu'on puisse faire l'interpolation à vue sans s'écarter du degré de précision que l'on doit atteindre. C'est ainsi que les valeurs de K sont représentées de mètre en mètre sur l'abaque de l'École de guerre (p. 242).

II. Les diviseurs a et b sont arbitraires au point de vue théorique. En pratique, on les choisit plus grands ou plus petits que l'unité, de manière à diminuer les quantités trop grandes ou à agrandir les quantités trop petites.

III. On ne dessine sur un abaque que les valeurs de K, z et p dont on croit avoir besoin, ou qui sont des multiples ou des sous-multiples simples de ces valeurs.

Ainsi, sur l'abaque des valeurs de K, figurent les valeurs de 60 mètres à 180 mètres. En les divisant par 2, on a les valeurs de 30 à 90 mètres ; en les multipliant par 2, on peut aller jusque 360 mètres.

Il peut résulter de là que les points d'origine A, B et C se trouvent, en réalité, en dehors de la feuille de papier sur laquelle est dessiné l'abaque.

IV. Lorsque les échelles prennent des proportions trop grandes, on les subdivise et l'on construit plusieurs échelles partielles.

On peut évidemment employer des valeurs différentes de a et b pour chacune des échelles.

Dans l'*abaque du capitaine Goedseels*, les valeurs de K sont indiquées sur une seule échelle et les valeurs de z et de p sur trois échelles.

Une première échelle, l'échelle VI, correspond aux valeurs de z depuis $100^{g}01$ jusque $101^{g}00$ ou depuis $99^{g}00$ jusque $99^{g}99$. L'échelle V donne les valeurs correspondantes de p.

Une seconde échelle, l'échelle VII, correspond aux valeurs de z depuis 101 jusque 105 grades ou depuis 95 jusque 99 grades. L'échelle IV donne les valeurs correspondantes de p.

Une troisième échelle, l'échelle VIII, correspond aux valeurs de z de 105 à 115 ou de 85 à 95. L'échelle III donne les valeurs correspondantes de p.

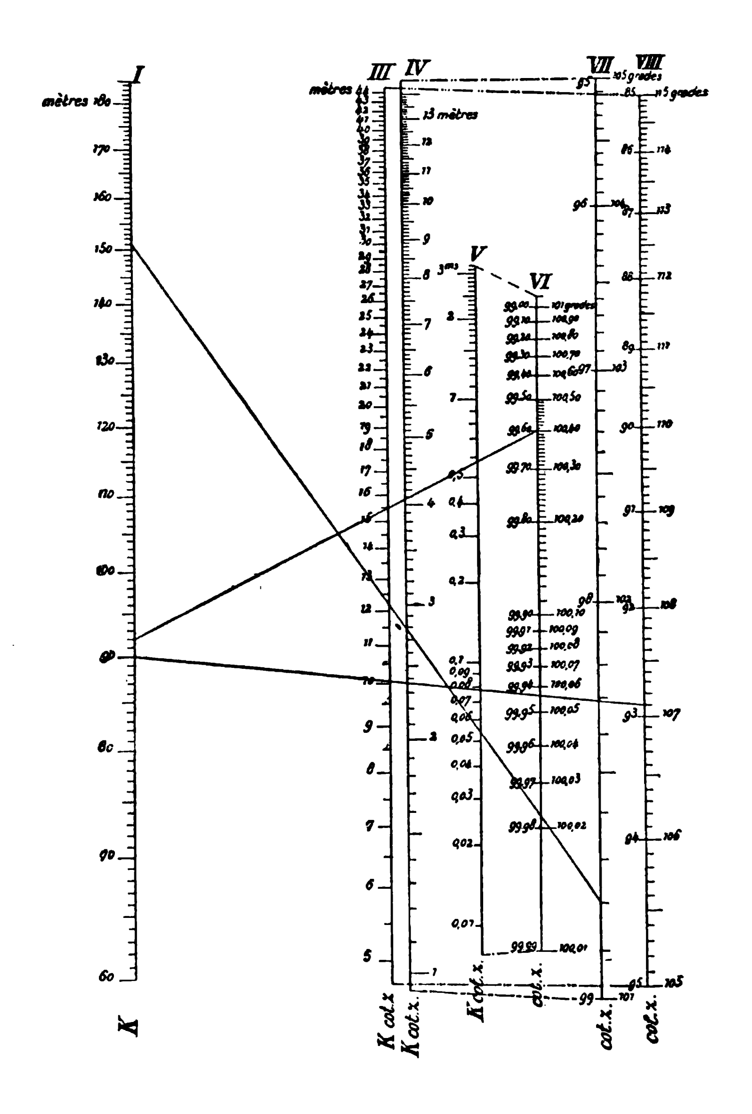
Pour éviter les erreurs, les échelles formant système entre elles sont reliées par des traits interrompus séparés par deux ou trois points, mais il est infiniment préférable d'accoler à ces échelles des traits de même couleur (au crayon de couleur on ajoute : un trait rouge le long des échelles III et VIII, un trait bleu le long des échelles IV et VII, un trait d'une autre couleur aux échelles V et VI).

Exemples de calculs au moyen de ces abaques [1]. — Il s'agit de calculer la différence de niveau de deux points au moyen de K, la réduction à l'horizon de la distance qui les sépare, et de z, l'angle zénithal de la droite qui les unit :

$$dn = K \cot z.$$

---

[1] Les résultats sont ceux qu'indique la figure qui n'est pas parfaite.



I
mètres
K
III
IV
mètres
13 mètres
K cot.x
K cot.x.
V
VI
K cot.x
cot.x.
VII
105 grades
VIII
115 grades
cot.x.
cot.x.
101 grades

1° Soient K = 92 mètres et z = 100,40 grades.

Tendez un fil de la division 92 de l'échelle I à la division 100,40 de l'échelle VI et vous lirez environ 0,58 à l'échelle V.

$$K \cot z = 0^{m}58.$$

L'opération est *identique* si z = 99,60.

2° Soient K = 151 mètres et z = 101,20 grades.

Tendez le fil de la division 151 de l'échelle I à la division 101,20 de l'échelle VII et vous lirez environ 2,78 à l'échelle IV.

$$K \cot z = 2^{m}78.$$

L'opération est *identique* si z = 98,80.

3° Soient K = 30 mètres et z = 107,10 grades.

30 mètres ne sont pas représentés à l'échelle I, doublez ou triplez 30, prenez donc 60 ou 90; soit 90.

Tendez le fil de la division 90 de l'échelle I à la division 107,10 de l'échelle VIII et vous lirez environ 10,10 à l'échelle III.

Divisez 10,10 par 3, puisque vous avez multiplié K par 3, et vous aurez

$$K \cot z = 3^{m}36.$$

L'opération est *identique* si z = 92,90.

4° Soient K = 300 et z = 103,40.

Divisez K par 2 ou par 3; soit par 2; prenez donc 150.

Tendez le fil de la division 150 de l'échelle I à la division 103,40 de l'échelle VII et vous lirez 8,00 environ à l'échelle IV.

Multipliez 8 par 2, puisque vous avez divisé K par 2, et vous aurez

$$K \cot z = 16 \text{ mètres.}$$

Degré de précision de l'éclimètre.

Si l'on prenait les mêmes précautions et si l'on employait les mêmes méthodes qu'avec les niveaux proprement dits, on arriverait à obtenir, en moyenne, la différence de niveau de deux points distants de 100 mètres à moins d'un centimètre près.

La lecture de l'angle zénithal ne peut guère se faire qu'avec

une approximation de 1 à 2 minutes centésimales et l'influence d'une erreur de lecture d'une minute varie avec l'inclinaison de l'axe optique sur l'horizon et la distance de l'éclimètre à la mire.

En général, on ne plante pas des piquets de support pour la mire; on ne procède pas par la méthode depuis le milieu qui éliminerait des calculs la hauteur de l'instrument, fort difficile à mesurer exactement, et l'erreur de collimation; on travaille rapidement.

Dans ces conditions, on commettra facilement des erreurs de 1 à 3 centimètres par sommet : ces erreurs, n'étant pas toujours de même signe, se compenseront plus ou moins et la fermeture du polygone sera satisfaisante si la cote de fermeture ne diffère de la cote de départ que de $n \times 0^m01$, n étant le nombre de sommets du polygone.

Fermeture d'un polygone levé à l'éclimètre. — Voir page 170 et le ***Programme du levé à la boussole-éclimètre,*** chap. VI.

Exemple. — La cote de départ de A est 100,000; la cote de fermeture de A est 100,180. Différence : 0^m180.

Le polygone de nivellement a 15 sommets A, B, C, ..., M, N, O. On répartit l'erreur 0^m180 entre les 15 sommets. 0,180 : 15 = 0,012.

On retranche	0,012	de la cote trouvée	pour	B.
»	2 × 0,012	»	»	C.
»	3 × 0,012	»	»	D.
. . . . . .	. . . . . .	. . . . . .	. . . . . .	. . . . . .
»	14 × 0,012	»	»	O.
»	15 × 0,012	»	»	A (à la fermeture).

On inscrit ces cotes *corrigées* dans la colonne à ce destinée, et l'on prend ces cotes corrigées comme cotes de départ pour la suite des opérations.

On est parti, par exemple, de la cote *corrigée* 88,385 du sommet R. On a levé la traverse R*abc*V. On trouve pour V la cote 90,675, tandis que la cote *corrigée* du polygone de base est, pour V, de 90,715.

Différence : 90,715 — 90,675 = 0,04.

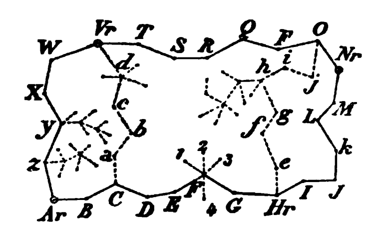
On ajoute 0,01 à la cote de *a*; 0,02 à la cote de *b*; 0,03 à la cote de *c* et enfin 0,04 à la cote trouvée à la fermeture pour V.

Quelques applications du nivellement.

Levé des courbes hypsométriques. — On procède, pour lever le relief d'un terrain, d'une façon analogue à celle que l'on a employée pour construire la planimétrie : on commence par établir, avec grand soin, un *canevas de nivellement*, composé de un ou de plusieurs polygones principaux de base, que l'on subdivise ensuite en polygones plus petits par des traverses de nivellement; puis, on rattache, aux sommets des polygones et des traverses, tous les points caractéristiques du terrain dont il est utile de connaître l'altitude.

Le *Nivellement général de la Belgique* a déterminé l'altitude d'environ 8500 points marquants du territoire [1], de sorte qu'il existe en moyenne trois points ou *repères du nivellement général* par commune (voir 1re Partie, p. 75 et 2me Partie, p. 217).

L'officier topographe, qui se rendait sur le terrain avec sa planchette [2] et une boussole-stadia-éclimètre pour lever le relief, c'est-à-dire pour déterminer les courbes de niveau, basait son travail sur les repères du nivellement général.



Il partait de la cote connue d'un de ces repères A*r*, par cheminement vers un autre repère H*r*, et par un cheminement en retour revenait sur A*r*; ou bien, si la cote trouvée par lui pour H*r* se rapprochait suffisamment de l'altitude donnée par le nivellement général, il répartissait son erreur sur les sommets entre H*r* et A*r*, et continuait son cheminement vers un autre repère N*r*, en partant de la cote H*r* du nivellement général,.... et ainsi de suite. Il construisait, de cette manière,

---

[1] Les cheminements du nivellement général ont les longueurs suivantes : 1er ordre 3980 kilomètres, 2d ordre 8578 kilomètres. Le nivellement général a exigé plus de 10 années de travail; il a coûté, par kilomètre, frs 5,70 pour le 1er ordre et frs 5,25 pour le 2d ordre.

[2] Voir le renvoi (1) page 23 de la 1re Partie.

un polygone de base par commune, sur les sommets duquel il s'appuyait pour établir des traverses de nivellement.

Pendant ses cheminements sur le polygone de base et sur les traverses, il profitait de la mise en station de son instrument pour niveler par rayonnement, de chaque sommet, les points utiles à sa portée.

Enfin, s'il lui manquait des cotes en certains endroits pour tracer exactement ses courbes, il partait d'un sommet de polygone ou de traverse voisin, par un bout de cheminement vers l'endroit où il désirait lever des points de nivellement supplémentaires.

Il couvrait ainsi sa planchette d'environ 4000 points nivelés qui lui permettaient de tracer les courbes de niveau.

La direction des cheminements ou des coups de niveau était donnée par la boussole et la longueur des nivelées par la lunette-stadia.

Conditions auxquelles doit répondre le canevas de nivellement. — Pour que le canevas soit réellement utile au tracé des courbes, le polygone, les traverses, les rayonnements et les coups de niveau doivent remplir certaines conditions.

Le sol, en dernière analyse, avons-nous dit 1re Partie, page 78, est formé de lignes de hauteurs séparées par des dépressions ou vallées. Des lignes de hauteurs moins importantes se greffent sur les lignes principales et des dépressions secondaires aboutissent aux vallées importantes.

La ligne marquante, principale, d'une ligne de hauteurs est sa ligne de faîte; la ligne importante et bien définie d'une vallée est son thalweg.

Les lignes de faîtes et les thalwegs forment donc la charpente du relief : ce sont ces lignes que l'on doit suivre dans les opérations d'un nivellement ayant pour objet le figuré du relief.

Les côtés des polygones de base seront donc dirigés suivant les grands thalwegs et les lignes de faîte principales, les traverses passeront par les thalwegs et les lignes de faîte de second ordre, les cheminements complémentaires courront sur le dos des petites croupes et dans le creux des petites dépressions, enfin les coups de niveau rayonnants seront dirigés sur les

versants de façon à déterminer un nombre de cotes suffisant pour tracer les courbes de niveau.

(Voir, comme modèle, un fragment de la carte au 20.000e d'Ath.)

Le levé de terrain à la boussole-éclimètre, que nous exécutons dans les environs de Bruxelles, est de surface fort restreinte ; on chercherait vainement, dans ce terrain de 800 mètres de long sur 600 de large, les grandes lignes de faîte et les thalwegs importants dont nous venons de parler, mais il est cependant possible et nécessaire d'appliquer à cet exercice de nivellement les principes généraux qui viennent d'être établis.

Il est à remarquer aussi que nous exécutons les opérations du nivellement, en partie du moins, en même temps que celles de la planimétrie; que notre canevas planimétrique est en même temps notre canevas de nivellement.

On cherchera *surtout* à ce que le canevas satisfasse aux exigences de la planimétrie et, pour ce qui concerne le nivellement, les sommets des polygones du canevas joueront, en quelque sorte, un rôle analogue à celui des repères du nivellement général dans la construction du relief sur les planchettes de l'Institut cartographique.

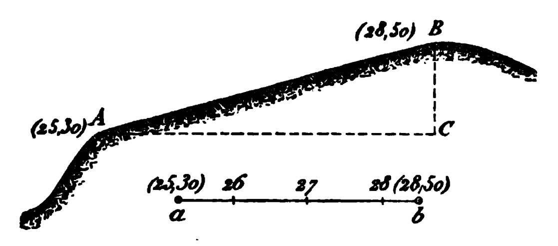
Cela ne signifie pas que, dans le choix des sommets de planimétrie, on fera abstraction de toute considération relative au nivellement ; on cherchera au contraire à placer les sommets, chaque fois qu'on le pourra, sur le sol naturel, dans les thalwegs, sur les lignes de faîte, *aux changements de pentes,* etc..... mais on ne se préoccupera pas *outre mesure* des conditions à réaliser pour le nivellement.

On partira des sommets de la planimétrie pour construire des traverses, des bouts de cheminement, des rayonnements de nivellement. Les traverses de nivellement et les bouts de cheminement suivront les petits thalwegs et les petites lignes de faîte, qui ne seront en général que de simples dos d'âne ou des plis de terrain.

Entrons dans quelques détails : pour qu'un côté de polygone ou de traverse, ou un coup de niveau rayonnant, soit tout à fait utile au tracé des courbes hypsométriques, il faut que le coup de niveau soit donné suivant une pente uniforme, régulière du

terrain; que la ligne qui le représentera sur la planchette appartienne *tout entière au terrain naturel.*

Soit AB une ligne du terrain; *ab* sa réduction à l'horizon,

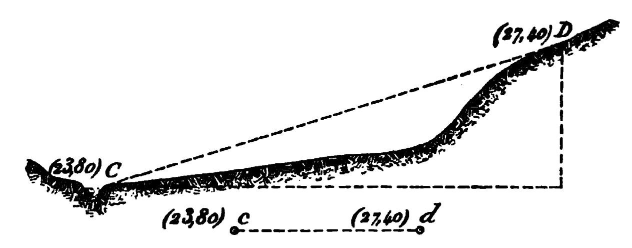


à l'échelle du dessin, portée en longuenr et en direction sur la planchette.

Il suffira de construire l'échelle de pente de *ab,* dont on connaît deux points, pour avoir la cote d'un point quelconque du terrain naturel situé sur AB. Les points 26, 27 et 28 seront les points de passage des courbes de niveau 26, 27 et 28.

Soit CD un coup de niveau passant au-dessus d'une dépression, *cd* le coup de niveau reporté sur la planchette.

Impossible de déterminer, à l'aide de *cd,* la cote des points du terrain naturel situé sur l'*alignement* CD; les seuls points



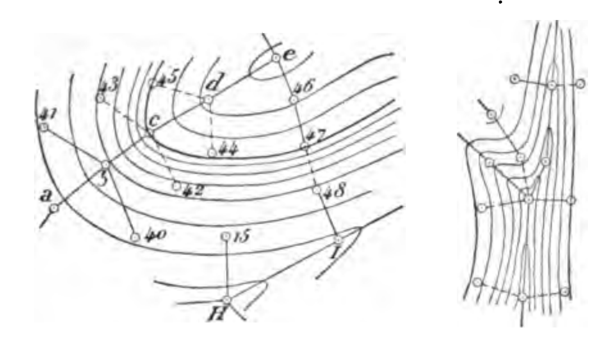
c et *d,* et non la ligne *cd,* seront utiles pour le tracé des courbes.

Les lignes de nivellement seront donc, autant que possible, *des lignes appartenant tout entières au terrain naturel.* Les points de nivellement seront choisis aux changements de pente, aux sommets des escarpements, au pied des talus ou des arrachements de terrain, etc.

Les figures suivantes donnent *une idée* de la façon dont doivent être donnés les coups de niveau pour déterminer le

relief d'une croupe ou d'une vallée : tous les mouvements de terrain peuvent être décomposés en croupes et en vallées.

Les lignes du nivellement étant construites sur la planchette et les cotes inscrites au crayon à côté de chaque point nivelé,

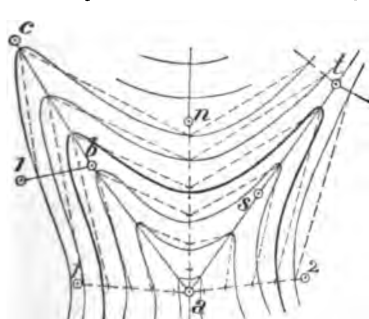


on détermine ce qu'on appelle les points de *cote ronde*, c'est-à-dire les points dont la cote est un nombre entier.

Les points de cote ronde sont des points de passage des courbes hypsométriques, lorsque les coups de niveau sont donnés suivant des pentes uniformes ; dans le cas contraire, ils ne donnent que des indications approximatives sur les points de passage des courbes.

On les obtient en construisant l'échelle de pente de chacun des coups de niveau. (Voir pour plus d'explications le *Programme du levé à la boussole-éclimètre*, chap. IX.)

Les points de cote ronde ayant été déterminés sur la planchette, comme nous venons de le dire, on unit légèrement au *crayon dur*, à domicile, les points de même cote ; puis on se rend sur le terrain et l'on trace, *on dessine artistement* les courbes définitives, en étudiant avec soin la configuration du sol.



On interrompt les courbes au passage des voies de commu-

nication et l'on renforce le trait des courbes dont le chiffre de la cote est un multiple de cinq.

REMARQUES. — Si des côtés de nivellement, ou des coups de niveau rayonnants, ont été levés suivant des lignes qui n'appartiennent pas toute entières au terrain naturel, on aura soin de les tracer sur la minute en traits distincts [1]; ces lignes de nivellement ne pourront nécessairement servir à déterminer directement les points de passage de courbes, avons-nous dit; on intercalera les courbes à vue *sur le terrain entre les points nivelés.*

Ordinairement, on trace en bleu sur la minute les lignes du nivellement qui ne sont pas en même temps des côtés de planimétrie : celles qui suivent des pentes uniformes en traits pleins, les autres en traits interrompus. On entoure les sommets d'une petite circonférence. (Voir le *Programme du levé à la boussole-éclimètre.)*

Procédé plus expéditif. — La méthode suivante est plus rapide lorsque l'on se sert exclusivement du voyant supérieur de la mire de l'Institut pour lever le canevas de la planimétrie et du nivellement à la boussole-éclimètre : après avoir levé les deux premiers sommets, on passe chaque fois un sommet, c'est-à-dire que l'on stationne en A, B, D, F, H, ..., et non en C, E, G, ...; on lève les côtés alternativement par coup d'arrière et par coup d'avant.

On gagne le temps assez long des mises en station, et, si les côtés sont *à peu près égaux,* on opère en quelque sorte par la méthode depuis le milieu, dont nous avons vu les avantages.

Les erreurs qui proviennent de la correction de collimation, qui n'est jamais mathématiquement déterminée et qui varie du reste, sont fortement atténuées par ce système, tandis qu'elles s'ajoutent si l'on procède exclusivement par coup d'avant.

On construit les côtés impairs du polygone, sauf le premier, par les azimuts réciproques.

Les vérifications de la planimétrie — opérations et construc-

---

[1] Il est même prudent d'en tenir note dans la colonne *Observations* du carnet : on inscrira dans cette colonne OP (*p. v.*), par exemple, ce qui signifie OP *pente variée.* Lorsque l'on est rentré chez soi, on ne distingue plus bien la nature du tracé des lignes au crayon et l'on est exposé à se tromper en passant à l'encre. Une erreur peut causer des ennuis et défigurer le relief.



tion — se font exclusivement par les repères, dont le rôle est plus important.

Pour le nivellement, il y a lieu de tenir compte, dans un coup d'arrière, du changement de signe de *dn* : on déduit la cote du point de station de celle du point sur lequel se trouve la mire.

L'ordre des lettres, dans le *Carnet d'inscriptions*, indique si c'est un coup d'avant ou un coup d'arrière.

Cette méthode ne donne aucun moyen de vérification pour les opérations du nivellement : on marche dans l'incertitude la plus complète jusqu'à la fermeture du polygone de base ou des traverses.

Levé direct des courbes. — La façon de déterminer les courbes hypsométriques que nous avons exposée est dite *méthode irrégulière*. Il existe d'autres méthodes, telle que celle qui consiste à filer et à lever directement sur le terrain quelques courbes ou fragments de courbes maîtresses : nous n'avons pas le temps de les exposer et d'établir des comparaisons; le sujet est traité en détails dans le *Mémorial de l'officier du génie*, n° 28, page 255 (France). Nous préférons la méthode irrégulière.

Résumé des opérations de la planimétrie et du nivellement à la BOUSSOLE-STADIA-ÉCLIMÈTRE, *en un point de station S*. Voyez le chapitre IV du *Programme du levé à la boussole-éclimètre*, à la fin de cette 2de Partie.

Construction d'un ouvrage de fortification.

Travaux topographiques nécessaires pour l'établissement des plans et l'exécution des terrassements.

Supposons qu'il s'agisse de la construction d'un fort.

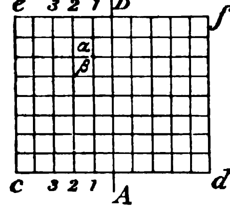
Les plans du fort-type sont ordinairement dressés, pour un site horizontal, par l'ingénieur militaire qui l'a conçu; l'officier du génie chargé de construire l'ouvrage doit modifier ces plans d'après des indications spéciales, le terrain déterminé sur lequel le fort doit être édifié, le relief de la contrée environnante dans un rayon qui dépend de la portée et du mode d'action de l'artillerie, etc.

L'emplacement exact du fort ainsi, que la direction de sa

capitale, ou de l'un de ses fronts, ou d'une ligne importante de l'ouvrage, sont des données fournies par la Direction des fortifications.

Le premier travail à exécuter, par l'officier du génie constructeur, est le levé de son terrain (planimétrie et nivellement).





Il fera un levé à grande échelle.

Les méthodes qu'il adoptera varieront avec les instruments qu'il aura à sa disposition et ses préférences personnelles.

Supposons que l'on dispose d'une équerre d'arpenteur et d'un niveau Lenoir.

La méthode suivante pourra donner de bons résultats.

On jalonne la capitale du fort, l'un de ses fronts principaux ou toute autre ligne importante ; on divise cette directrice AB en parties qui, ***réduites à l'horizon***, ont 10, 20 ou 30 mètres de longueur, suivant le genre de terrain et l'exactitude que l'on désire obtenir. On se sert pour cela de la chaîne d'arpenteur, si le terrain est à peu près horizontal ou de pente régulière ; si les pentes sont accentuées et variées, il sera nécessaire de recourir au double-mètre ou au quadruple mètre et au niveau de maçon (p. 42 et 170).

On plante des piquets préparés d'avance à tous les points de division. Ces piquets seront numérotés plus tard, ils ont 4 ou 5 centimètres de diamètre et 40 à 50 centimètres de long ; ils sont destinés à rester en place pendant toute la durée des terrassements, on les enfonce donc jusqu'à refus à coup de maillet et on les scie ensuite à quelques centimètres du sol ; enfin, on enfonce dans leur tête un gros clou à tête ronde sur lequel se placera la mire pour les opérations de nivellement.

On élève ensuite avec grand soin des perpendiculaires en chacun des points de division de la directrice AB, au moyen de

l'équerre d'arpenteur. On jalonne ces perpendiculaires. On divise deux des perpendiculaires extrêmes, *cd* et *ef*, de la même façon que la directrice AB; on plante des piquets aux points de division. On place des jalons aux piquets de *cd* et de *ef* et un jalon intermédiaire entre les piquets de même ordre 1-1, 2-2, ..., des alignements *cd* et *ef*. On trace ainsi des alignements parallèles à AB. Enfin, on fait planter des piquets α, β, etc., à l'intersection des perpendiculaires et des parallèles à la directrice AB. (*Intersection de deux alignements*, p. 40.)

La projection horizontale du terrain, ainsi divisé, donnera des carrés dont les piquets occuperont les sommets.

On construit ces carrés à l'échelle du dessin; on désigne les piquets par des lettres ou des numéros sur le papier et on peint à la couleur les lettres ou les numéros sur les piquets.

Planimétrie. — Tous les détails sont rapportés, par abscisses et par ordonnées déterminées à la chaîne et à l'équerre d'arpenteur, au carrelage ainsi préparé sur le plan et sur le terrain.

Nivellement. — On connaît l'altitude exacte d'au moins un point du terrain [1]. On détermine avec soin, par la méthode générale (p. 198), la cote de 10, 20 ou 30 points, répartis d'une façon à peu près uniforme sur le terrain, et qui formeront un *canevas* de nivellement. Ces points de repère sont choisis en des endroits bien visibles des points environnants et de préférence sur des seuils, des margelles, des bornes, etc., que l'on fait tailler sur un décimètre carré; ou bien on fait *maçonner* dans le sol de forts piquets en chêne dans la tête desquels on enfonce un clou à grosse tête.

Le canevas du nivellement étant levé, on détermine la cote de tous les piquets du carrelage par des coups de niveau rayonnants (p. 165).

Les cotes sont inscrites à côté de la lettre ou du numéro des piquets sur le plan et peintes à la couleur sur les principaux piquets.

---

1 Si l'on n'avait pas l'altitude exacte d'un point du terrain, on irait la prendre au repère du *Nivellement général* le plus voisin, par un cheminement aller et retour.



On trace les courbes de niveau sur le plan, à l'équidistance de $0^{m}25$ ou de $0^{m}50$, au moyen des cotes des piquets.

Projet de route.

Travaux de nivellement à l'éclimètre et au niveau *Lenoir*. Plan parcellaire à l'équerre d'arpenteur.

Conditions générales auxquelles doit satisfaire un projet de route (aperçu très sommaire, voir le *cours de construction)* :

1° L'itinéraire adopté doit être le plus court possible;

2° La route doit être établie sur un terrain résistant;

3° Les pentes doivent être au maximum de ..., cela dépend du genre de route (6 °/₀ pour les routes de l'État nouvelles);

4° La route doit être, autant que possible, établie au niveau du terrain naturel;

5° Les déblais doivent compenser les remblais;

6° Le prix de revient doit être minimum.

Toutes ces conditions, et ce ne sont que les principales, ne s'accordent pas entre elles, *l'art* consiste à faire à chacune la plus belle part possible dans la réalisation du projet.

On commence par élaborer *un avant-projet*.

On étudie le projet sur la carte au 20.000ᵉ.

On fait, la carte à la main, une reconnaissance détaillée du terrain. On complète éventuellement la carte.

Puis on trace l'itinéraire *sur la carte*, en cherchant à réaliser au mieux les conditions générales citées plus haut. On retourne sur le terrain, on fait un nivellement rapide, (à l'éclimètre donc), du profil de l'avant-projet. On le modifie si c'est nécessaire, on l'adopte s'il convient. (Quelques figures à la leçon.)

Projet définitif. — Le tracé de la route étant arrêté, on le fixe d'une façon définitive *sur le terrain* au moyen de jalons et de piquets.

On fait alors :

1° Un *profil en long* suivant l'axe de la route;

2° Une série de *profils en travers*.

Tous ces profils sont exécutés à l'aide d'un niveau proprement dit (niveau *Lenoir* par exemple).

On construit ces profils à une grande échelle et l'on s'en sert pour déterminer ce que l'on appelle la *ligne rouge* du projet, qui est le profil de la route proprement dite avec ses paliers, ses pentes et ses rampes (suivant l'axe de la route, figures à la leçon).

3° On ajoute *en rouge* les profils en travers *de la route,* sur les profils en travers du terrain : ils serviront au calcul des terrassements (figures).

4° On fait la cubature des terrassements. Remblais et déblais doivent se balancer, on modifie la ligne rouge si cette condition n'est pas réalisée.

5° On exécute le *plan parcelllaire* des emprises sur les propriétés, après avoir piqueté les profils en travers de la route sur le terrain. Le levé des parcelles se fait à l'équerre d'arpenteur (figures).

6° On calcule les emprises et on en estime la valeur.

7° On fait le devis du coût des travaux.

CHAPITRE III.

Nivellement barométrique.

« ***Principe général.*** — On sait que la hauteur de la colonne mercurielle du baromètre baisse à mesure que l'on s'élève dans l'atmosphère, par suite de la diminution de pression résultant de la moins grande épaisseur de l'air superposé. Si l'on établit la loi $h = \varphi$ (H) qui lie la hauteur h de la colonne barométrique à l'altitude H d'un point, il suffit de lire le baromètre pour avoir l'altitude.

» Malheureusement, cette relation est très compliquée. La densité des couches successives de l'air varie suivant une loi logarithmique, si toutes les autres circonstances restent égales ; mais elle est en même temps subordonnée à la température de l'air, qui change d'un point à l'autre et aux différents moments, et l'intensité de la pesanteur, qui varie avec l'altitude et avec la

latitude. Enfin, il faut toujours faire aux lectures barométriques une correction destinée à tenir compte de la température propre de l'instrument.

» La formule qui permet de calculer la différence de niveau de deux points, en raison de la hauteur relative des colonnes de mercure de deux baromètres observés en ces deux points, a été donnée pour la première fois par Laplace. Elle a été quelque peu modifiée depuis, et on la trouve telle qu'elle s'emploie aujourd'hui dans l'*Annuaire du bureau des longitudes*, avec des tables propres à en faciliter l'usage. Il est inutile de la reproduire ici.

» ***Formule de Babinet.*** — Pour des contrées, comme la France, qui sont en moyenne sous le parallèle de 45°, et quand les différences de niveau sont assez petites pour qu'on puisse les négliger par rapport au rayon de la terre, la formule de Laplace peut être simplifiée, tout en donnant encore des résultats suffisamment exacts, pour ce qu'on peut demander pratiquement à cette méthode, qui ne comporte qu'une approximation grossière.

» Babinet a démontré que, dans ce cas, la formule peut se mettre sous la forme

$$Dn = 32(500 + t + t')\frac{h - h'}{h + h'}.$$

Dn est la différence de niveau de deux stations, où la température de l'air et la pression barométrique sont respectivemeut t et h, t' et h', les hauteurs h et h' étant ramenées à la température 0° du baromètre.

» ***Baromètres anéroïdes.*** — Le transport d'un baromètre à mercure est toujours délicat et demande des précautions particulières. L'observation des fractions de millimètre y est difficile, et le calcul de la correction de température demande des tables calculées d'avance.

» L'invention des baromètres anéroïdes, dont le transport est des plus faciles, a singulièrement simplifié le nivellement barométrique Quand ces appareils sont bien construits, leurs indications sont compensées par rapport à la température et ne varient pas avec elle, et sur un cadran suffisamment grand les dixièmes de millimètre s'estiment facilement.



» Cet instrument est seulement sujet à se déranger par les chocs; mais il est toujours facile de le régler sur un baromètre stationnaire, dont l'exactitude est éprouvée, au moyen d'une vis de réglage qui fait mouvoir l'aiguille à volonté.

» ***Marche de l'opération.*** — Il faut pour un nivellement barométrique deux observateurs, munis chacun d'un baromètre et d'un thermomètre. Leurs instruments doivent avoir été comparés entre eux; s'ils ne donnent pas des indications identiques lorsqu'on les place à côté l'un de l'autre dans des conditions variées de température et de pression, on note les différences, afin de pouvoir corriger les observations et les ramener à ce qu'elles seraient avec des instruments concordants.

» L'un des observateurs se tient à la station à laquelle on veut comparer la hauteur des autres. Il observe le thermomètre et le baromètre à des intervalles rapprochés, de 10 en 10 minutes par exemple, afin de pouvoir tracer des courbes exactes de leurs variations, en prenant les heures pour abscisses.

» Le second observateur, dont la montre a été réglée sur celle du premier, note, en chaque station où il se rend, l'heure de l'observation et la hauteur de son baromètre et de son thermomètre.

» De retour au cabinet, il calcule les différences de niveau, d'après la formule de Laplace ou celle de Babinet, en comparant les résultats qu'il a obtenus avec ceux des courbes dressées par l'observateur stationnaire.

» Les instruments doivent être toujours maintenus à l'ombre; il faut éviter d'opérer dans les temps d'orage ou par les grands vents, et choisir de préférence le milieu de la journée pour les observations. On ne doit pas se contenter d'une seule opération pour chaque point; il est bon de réitérer plusieurs fois pendant plusieurs jours et de prendre la moyenne des résultats.

» Grâce à toutes ces précautions, on peut obtenir les altitudes à quelques mètres près. Cette approximation est presque toujours suffisante pour les cas où l'on a recours à cette méthode, et l'on épargne ainsi les énormes dépenses de temps et d'argent qu'eût entraînées l'emploi du niveau et de la mire.

» ***Baromètres orométriques.*** — Pour des approximations plus grossières, on construit des baromètres, dits altimétriques ou

orométriques, qui donnent les altitudes par une simple lecture, mais avec une erreur probable d'environ 5 pour 100 seulement.

» Pour les établir, on suppose constants les éléments h' et t' de la formule de Babinet. On choisit par exemple $h' = 0^m,760$ et $t' = 20°$ [1] au niveau de la mer. On admet, en outre, que la température varie proportionnellement à l'altitude, à raison d'une diminution de 1° pour 165 mètres d'élévation. On a alors une relation simple entre l'altitude et la pression barométrique, en se servant de la formule de Babinet. On calcule les valeurs de h en fonction de celle de Dn et l'on inscrit sur le cadran du baromètre, au lieu des hauteurs de mercure, les altitudes correspondantes. Une simple lecture faite sous l'aiguille du baromètre donne alors l'altitude du point où l'on se trouve, si la pression barométrique est normale au moment de l'observation.

» Pour permettre d'opérer dans le cas où la pression barométrique s'écarte de la pression normale, le limbe du cadran qui porte les divisions est mobile autour du centre. Au départ, on place sous l'aiguille la division du limbe qui répond à l'altitude connue du point de départ. L'altitude du point d'arrivée est indiquée par la division où tombe l'aiguille, si la pression barométrique ne varie pas pendant le voyage.

» Quand la pression barométrique ne reste pas fixe dans la journée où l'on opère, le résultat est entaché d'une erreur, que l'on peut corriger si un observateur stationnaire suit et note les variations du baromètre, d'heure en heure par exemple, à la station de départ. On sait ainsi quelle est la quantité dont le baromètre a monté ou descendu depuis le moment où l'on a réglé l'instrument jusqu'à celui où s'est faite l'observation, et l'altitude observée doit être diminuée ou augmentée de cette quantité, évaluée en hauteurs altimétriques.

» La partie fixe du cadran porte une graduation en millimètres de hauteur de mercure, qui fait voir immédiatement la valeur de cette correction. Cette graduation permet, en outre, de se

---

[1] $0^m,760$ est la pression normale, dans nos climats; 30° la température moyenne pendant la belle saison.



servir de l'instrument comme d'un baromètre ordinaire, pour déterminer les pressions atmosphériques [1]. »

Baromètre orométrique de Goulier [2].

C'est un baromètre anéroïde ayant la forme d'une grosse montre (voir la figure p. 260 et l'instrument). Les diamètres des spécimens de notre musée de topographie ont 7 et 12 centimètres.

On transporte le baromètre en poche ou dans une gaine suspendue au cou par une courroie.

L'appareil proprement dit se compose d'une boîte cylindrique dont les bases sont très minces et plissées en canelures circulaires dans le but d'en augmenter la souplesse et l'élasticité. Le vide, aussi complet que possible, est fait dans cette boîte qui est ensuite hermétiquement fermée. Un ressort résiste à la pression atmosphérique qui tend à aplatir la boîte.

Le ressort fléchit plus ou moins sous l'influence des pressions atmosphériques et ses mouvements d'abaissement et de redressement sont transmis, par un mécanisme à double traction, à une aiguille dont la pointe parcourt les divisions d'un cadran. Le cadran est gradué de façon à donner les pressions atmosphériques en millimètres de mercure. Un second cadran, extérieur au premier et mobile autour de son centre, est gradué en altitudes correspondant aux pressions en millimètres de mercure du premier cadran, d'après la formule de Babinet (ou celle de Laplace).

Mode d'emploi. — On veut déterminer l'altitude d'un point B, en partant de l'altitude connue, 60 mètres par exemple, d'un point A : on amène la division 60 du cadran orométrique sous la pointe de l'aiguille à la station A ; on lit l'altitude de B à la pointe de l'aiguille en arrivant en ce point.

Outre les précautions indiquées page 257 pour toute obser-

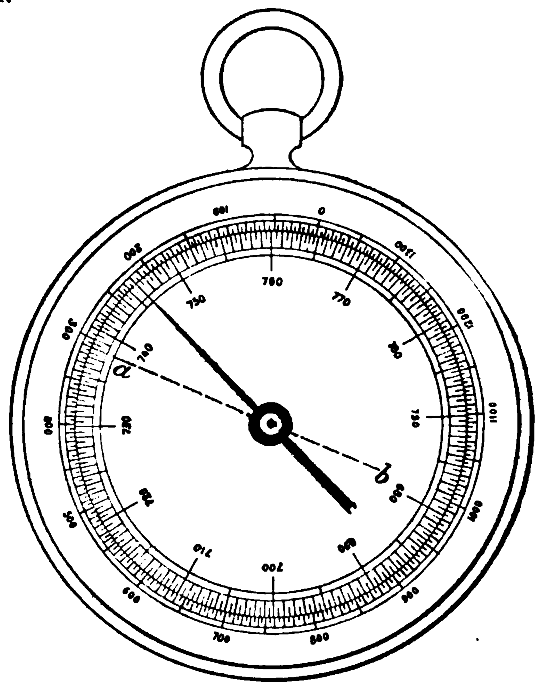
---

[1] *Lever des Plans et Nivellement*, par DURAND-CLAYE, PELLETAN et LALLEMAND.

[2] Orométrique ou holostérique ou bien encore orométrique-holostérique suivant les constructeurs et de légères différences.



vation, si l'on veut opérer avec soin, on tient le baromètre en poche, de façon à ce que sa température soit constante, et on ne sort l'instrument que pour faire les lectures à l'abri des rayons du soleil.



L'instrument est réglé pour partir d'une station dont l'altitude connue est 220^m. Comme on le voit, la pression barométrique à cette station, au moment du départ, est 746 mill., et la division 220 du cadran mobile est amenée sous la pointe de l'aiguille.

Si l'aiguille occupe la position *ab* à la station d'arrivée, cette station est à l'altitude 310 mètres.

Avant de faire les lectures, on donne quelques coups secs avec les doigts sur le verre qui couvre les cadrans, afin de vaincre l'inertie du mécanisme, qui pourrait empêcher l'aiguille de prendre sa véritable direction.

Si l'altitude du point de départ n'est pas exactement connue,

on prend, comme cote initiale, l'altitude approximative, et l'on a soin de noter l'hypothèse que l'on a faite. La différence de niveau sera donnée par la différence de l'altitude de la station d'arrivée et de l'altitude supposée au moment du départ.

Si l'on opère en montant, on peut amener la division 0 du cadran mobile sous l'aiguille à la station de départ : on lira, à la station d'arrivée, la différence de niveau à la pointe de l'aiguille. Cette façon de procéder est moins exacte quand il sagit de déterminer des altitudes; on ne l'emploiera que pour des opérations de nivellement.

Nous avons fait de nombreuses expériences dans l'Ardenne liégeoise, en août 1891, avec un seul baromètre Goulier; nous prenions d'habitude comme altitude de départ une cote de nivellement général et nous constations nos résultats d'arrivée au moment où nous atteignions un autre repère du nivellement général.

Nos observations, malgré la façon assez sommaire dont nous nous servions du baromètre et notre manque d'habitude de l'instrument, ont été fort bonnes; les discordances constatées aux stations d'arrivée, entre les indications du baromètre et les cotes du nivellement général, ont toujours été plus faibles que les 4 à 5 pour cent d'erreur à craindre indiqués par l'auteur. (Lorsque le temps était convenable pour opérer.)

Nous avons noté comme exceptionnellement bonne l'expérience suivante : 12 août 1891. Station de départ église de Theux, $9\frac{1}{2}$ heures du matin, altitude de départ 169^{m},40 (cote du nivellement général). En chemin de fer de Theux à Dolhain; en chemin de fer vicinal de Dolhain à Pont de Béthane (Goé); à pied par le barrage de la Gileppe, l'Hertogenwald, jusqu'au signal géodésique de la Baraque Michel; il est 3 heures après-midi quand nous y arrivons : le baromètre Goulier indique l'altitude 668 mètres; la cote du nivellement général du point trigonométrique de la Baraque Michel est 675^{m},02. Circonstances atmosphériques très favorables.

Voir, pour plus de détails, *Astronomie pratique* de DELPORTE; *Annuaire du Club Alpin français* pour 1879, étude du colonel GOULIER; *Conférences à la Société Royale malacologique de Belgique en 1889,* par le colonel HENNEQUIN; etc.



CHAPITRE IV.

Topographie expédiée.

L'officier se trouvera, en maintes circonstances, dans l'impossibilité d'appliquer, d'une façon absolue, les méthodes régulières que nous avons exposées dans les Chapitres I et II. Tantôt le temps, tantôt les instruments lui feront défaut; tantôt le temps et les instruments lui manqueront à la fois.

Il arrivera aussi, et plus souvent encore, qu'il n'aura pas pour mission de faire un levé de toutes pièces, mais de *compléter* ou de rectifier, à certains points de vue spéciaux, des cartes ou des levés réguliers exécutés à un point de vue général ou à une échelle trop petite.

Exemple. — Compléter, en vue d'une opération de guerre, les renseignements fournis par la carte d'état-major au 40.000e ou la carte réglementaire au 160.000e.

Disons immédiatement qu'on ne peut faire convenablement de la topographie expédiée sans connaître la topographie régulière, sans avoir *pratiqué* la topographie régulière, et que la seule façon d'opérer, en toutes circonstances, consiste à se rapprocher, autant que faire se peut, des procédés méthodiques.

Il est bien évident que ce n'est pas en lisant un livre qu'on deviendra jamais topographe, mais quelle que soit l'aptitude que l'on possède, ce n'est pas non plus sans un guide théorique que l'on fera jamais un levé.

Il ne faut pas croire qu'on puisse faire un levé uniquement à vue. En dehors du talent de dessinateur qui est indispensable pour cela, il est impossible de se passer de la détermination, au moins approximative, d'éléments géométriques, longueurs ou angles. Or, il est difficile d'évaluer des longueurs à l'estime si l'on n'en a jamais mesuré, et même alors est-on exposé à bien des illusions. Pour les angles, la difficulté est encore plus évidente. Et de fait, quand on médite les conseils donnés par certains topographes habiles pour l'exécution du levé à vue, on s'aperçoit immédiatement : 1° Qu'ils ont recours à des auxilliaires, c'est-à-dire à des instruments plus ou moins simplifiés, parfois rudimentaires, mais qui n'en sont pas moins des instruments; 2° Que leurs opérations sont conduites avec un très grand esprit de méthode.

(Conférence faite à l'École normale supérieure, par E. Crouzet, chef de bataillon du génie, chef de la section des levés de précision, au service géographique de l'armée, Paris 1893.)

Instruments.

Est-il nécessaire de dire que si l'on a le temps et les moyens de se procurer des instruments perfectionnés on mettra cette circonstance favorable à profit?

La collection des petits instruments présentés par beaucoup d'auteurs sous le nom d'instruments pour reconnaissances est grande et variée : nous avons donné le sextant rapporteur (page 120), nous n'en décrirons pas d'autres, parce que le temps nous manque d'abord, puis, parce que nous faisons surtout de la topographie militaire et que l'opportunité, pour l'officier en campagne [1], d'ajouter à son bagage un instrument de l'espèce, nous paraît fort contestable. Nous reviendrons sur cette opinion à la fin de ce chapitre à propos des levés à vue.

Instruments improvisés. Jalons (voir page 38). — On apointisse des piquets ou des baguettes par un bout, on fend l'autre bout dans lequel on introduit un voyant. (On achète un jeu de cartes dans le premier estaminet venu.)

De petites branches, sur l'extrémité desquelles on laisse quelques feuilles, constituent des signaux. Si les baguettes sont fraîchement pelées, on les distingue fort bien.

Au besoin, on prend comme signal un objet quelconque que l'on distingue nettement dans l'alignement voulu : arbre, fleur, partie de construction, pierre, etc.

Diastimètres directs. — On retient quelques dimensions que l'on a toujours à sa portée : sa taille (à peu de chose près égale à la distance qui sépare les extrémités des doigts lorsque les bras sont étendus horizontalement et les mains ouvertes); la hauteur de ses yeux au-dessus du sol; *le pourtour de sa tête;* la longueur de son pied chaussé; la distance de l'extrémité du pouce au bout du petit doigt ou à celui du médium, lorsque la main est ouverte et pressée sur une surface résistante; etc.

---

[1] Dans les pays où la carte topographique existe.



On connaît la longueur de son sabre, d'un fusil, d'une pièce d'artillerie, d'une lance, etc.

On sait que les bords d'une feuille au 40.000°, à l'intérieur du cadre, ont respectivement 50 et 80 centimètres; que les bords d'un sixième de la carte au 160.000° ont à peu près, en comptant les intervalles ménagés entre les rectangles pour les plis, 65 et 58 centimètres : si l'on avait oublié ces dimensions, on se servirait des échelles de ces cartes, ou des origines des méridiens de la carte au 40.000°, pour se les remettre dans la mémoire (voir p. 46 de la 1re Partie).

Les échelles des cartes permettent de construire un décamètre de corde : deux petits bâtons en guise de poignées et des nœuds de mètre en mètre en feront un excellent instrument.

NOMBRE DE PAS.	RÉDUCTION EN MÈTRES.	
1	0,78	Ex. 497 pas.
2	1,56	
3	2,34	312
4	3,12	70,20
5	3,90	5,46
6	4,68	387,66
7	5,46	
8	6,24	
9	7,02	

A défaut de carte, on entrera dans un magasin ou dans l'atelier d'un homme de métier où l'on trouvera toujours un mètre étalon pour construire un décamètre de corde.

Mais, en général, pour les levés expédiés militaires, on n'aura pas d'aide à sa disposition et les distances seront mesurées plus rapidement et plus sommairement : on les appréciera au pas. On aura donc étalonné avec soin son pas ordinaire, p. 45.

Si l'on a beaucoup de distances à mesurer au pas, on rendra la réduction des pas en mètres plus facile, plus rapide et plus sûre, en établissant une table de réduction du modèle ci-contre. On la copiera sur une carte de visite que l'on attachera par un fil à l'un des boutons de sa tunique.

On peut aussi étalonner, aux différentes allures, le pas du cheval que l'on monte habituellement; déterminer les espaces que l'on parcourt en une minute à pied ou à cheval, et compter par minutes lorsque les distances à mesurer sont longues.

Pour la reconnaissance d'itinéraires, en pays dont on ne possède pas de carte topographique, on se trouverait bien de l'emploi d'un *podomètre* (voir les différents spécimens).

Diastimètres indirects. — On utilisera les télémètres que l'on aurait à sa disposition (5[e] Partie). On recourra à l'un ou à l'autre procédé géométrique exposé dans les chapitres précédents. (Voir *Équerre d'arpenteur* surtout, pages 81 et 88.)

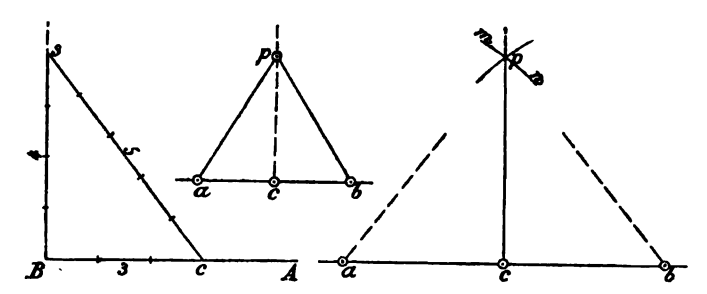
Goniomètres et goniographes. — L'équerre allemande est l'instrument le plus simple et le plus facile à construire : elle peut rendre d'excellents services si le levé à exécuter n'est pas trop étendu, page 83.

Deux côtés à angle droit de la couverture d'un carnet de notes constituent une équerre; on se servira de ces mêmes côtés pour construire les angles sur le papier.

Pour élever une perpendiculaire à l'extrémité d'un alignement AB, choisir une unité quelconque, porter 3 unités de B vers A; prendre deux cordes, deux perches ou deux lattes, supposons deux cordes; mesurer 4 unités sur la première corde et 5 unités sur la seconde; attacher ou faire tenir la première corde en B et la seconde en C; joindre les extrémités libres des deux cordes en S qui sera un point de la perpendiculaire.

$$5^2 = 3^2 + 4^2.$$

On peut élever une perpendiculaire, en un point *c* d'un alignement, à l'aide d'une corde : on fait des boucles à ses



extrémités et en son milieu; on mesure à droite et à gauche de *c* des distances égales, *ca* et *cb*; on plante des piquets en *a* et en *b*; on introduit un jalon dans la boucle du milieu; on tend la

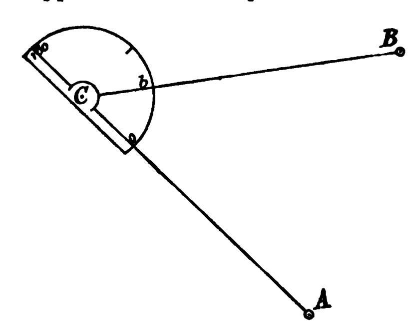
corde sur les deux piquets *a* et *b* et l'on enfonce le jalon en *p*. On prolonge l'alignement *cp* si c'est nécessaire.

Si le terrain s'y prête, on peut aussi se servir de la corde comme d'un compas : on fait des boucles à ses extrémités; on passe une des boucles dans le piquet *a*, et dans l'autre boucle on introduit une pointe à tracer quelconque; on tend la corde et l'on trace sur le sol l'arc de cercle *mn*; on passe la boucle dans le piquet *b*, on trace un arc de cercle; *p* est un point de la perpendiculaire.

Le prisme A du *télémètre réglementaire* constitue une excellente équerre.

On abaisserait par tâtonnements, comme à l'équerre d'arpenteur, une perpendiculaire d'un point extérieur sur un alignement (voir p. 82).

Pour mesurer les angles, certains auteurs préconisent le rapporteur : on se place en station au sommet *C* de l'angle à mesurer; on vise par le diamètre 180-0 sur le signal A, par le centre C sur le signal B, et on lit la division du rapporteur par laquelle passe le rayon visuel CB.



C'est théoriquement très simple et pratiquement mal aisé, car on ne peut piquer des épingles dans un rapporteur en corne ou en cuivre, les lignes de visée sont mal définies, on ne parvient pas à lire approximativement la graduation du limbe [1].

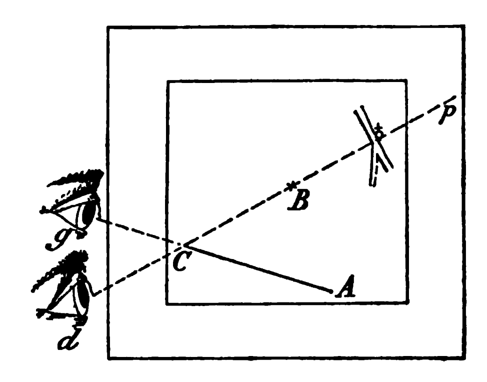
Si l'on adapte une alidade au rapporteur, on en fait un instrument encombrant et délicat auquel nous en préférons beaucoup d'autres.

---

[1] La planchette DUCARNE, page 268, vaut infiniment mieux, mais cet instrument, bien que fort simple, ne peut être construit séance tenante, et nous doutons qu'il soit suffisamment utile en campagne pour qu'un officier le transporte sur sa personne ou sur son cheval.



Ce que l'on désire généralement avoir, ce n'est pas la valeur en grades ou en degrés d'un angle, mais simplement la construction de cet angle sur le papier : on se servira avec avantage de son papier de dessin en guise de planchette ; on se placera en station au sommet C de l'angle à construire, on piquera des épingles aux extrémités du côté CA déjà tracé, on déclinera son papier sur A et l'on reconnaîtra à un détail du dessin, à un défaut du papier, à un point *p* que l'on marquera sur le bord du papier, où passe le côté CB sur la feuille du dessin (planchette p. 139).



On ferme alternativement l'œil droit et l'œil gauche pour faire les visées.

Si l'on avait beaucoup d'angles à construire, on fixerait une planchette légère ou un carton sur la tête d'un gros bâton en bois dur, qu'on apointisserait, et l'on collerait la feuille de dessin sur cette planchette topographique improvisée.

Si l'on avait du temps devant soi, et quelques ressources, on perfectionnerait le pied de son instrument, on fabriquerait une alidade. (Une simple règle et deux épingles forment alidade.)

La planchette est à notre avis l'instrument le plus pratique pour faire un levé expédié de quelque importance.

On peut construire un angle au moyen d'un diastimètre : on mesure les trois côtés d'un triangle (voir pages 30 et 47).

Sous le nom de *Planchette de campagne de l'École de guerre*, le major d'état-major Ducarne, lorsqu'il était professeur de topographie à cette école, préconisait l'instrument qu'il a décrit dans la notice suivante :

Description. — La planchette de campagne de l'École de guerre est formée d'un rectangle en bois [1], de $0^m,16$ de longueur sur $0^m,135$ de largeur.

---

[1] Une planchette de caisse à cigares.

Elle porte, à sa partie supérieure, des indications métriques, angulaires et trigonométriques. Un vernis protège le dessin contre l'humidité. Un passant en cuir, fixé à la face opposée, facilite le maniement de la planchette.

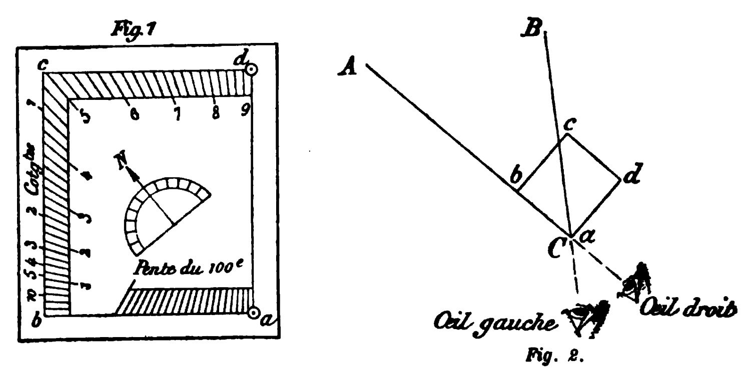


Fig. 2.

Usages. — La planchette permet de mesurer les angles dans le plan des objets, de déterminer les distances, d'apprécier les différences de niveau et les pentes, enfin de s'orienter.

Les dimensions de l'instrument ont été réglées de façon qu'il puisse être placé facilement dans la sacoche d'état-major.

Mesurage des angles.—Théorie. — Le principe qui sert de base pour le mesurage des angles par la planchette, c'est l'égalité des angles opposés par le sommet.

L'opérateur ayant un angle ACB à mesurer (fig. 2), place la planchette en *abcd*, à une distance de son visage telle, que l'angle sous-entendu en *a* par ses deux yeux soit égal à l'angle à mesurer.

Construction de l'instrument. — Diviser respectivement les côtés *bc* et *cd* proportionnellement aux tangentes et aux cotangentes des angles compris entre 0 et 90°, en prenant pour sommet *a*; c'est-à-dire construire un demi-rapporteur rectangulaire.

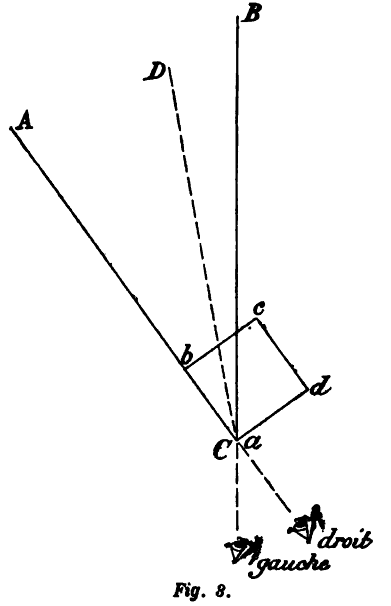


Fig. 3.

Emploi. — Soit à mesurer l'angle ACB (fig. 3).

Planter une épingle en *a*. Décliner la planchette en dirigeant le rayon initial *ab* dans la direction CA; ce qui se fait en fermant l'œil gauche, et en visant de l'œil droit.

Fermer ensuite l'œil droit et regarder de l'œil gauche. On voit, par exemple, le rayon visuel, déterminé par ce dernier œil et l'épingle, passer vers D, entre A et B. Cela prouve que l'angle soustendu à l'épingle par les yeux est plus petit que l'angle à mesurer.

Rapprocher alors la planchette du visage. Décliner de nouveau sur A. Faire la visée avec l'œil gauche. Continuer ainsi tant que les deux angles sont égaux.

En ce moment (fig. 2), l'épingle se projette sur le point de gauche (A) quand on vise de l'œil droit, et le point de droite (B) quand on vise de l'œil gauche. Lire la graduation qui est couverte par l'épingle dans cette dernière direction B.

Avec un peu d'habitude, on mesure un angle aigu en 15 secondes, et l'on trouve sa valeur à 30 minutes près.

Dans le cas de l'angle obtus, on procède par décomposition, et estimation des deux ou trois éléments.

Détermination des distances. — Théorie. — En principe, dans un levé à vue, la détermination des distances se fait au pas. Cependant la planchette permet d'apprécier les distances par la méthode graphique des recoupements ou par celle des intersections. Elle peut aussi servir de diastimètre indirect et donner immédiatement la distance par la construction, sur le terrain, d'un triangle rectangle dont l'un des côtés soit égal à 1, ou à 2, ou à 3, ou à 4, ou à 5, ou à 10 fois l'autre.

Construction de l'instrument. — Sur le côté *bc* de la planchette sont portées des longueurs égales à *ab*, $\frac{ab}{2}$, $\frac{ab}{3}$, $\frac{ab}{4}$, $\frac{ab}{5}$, et $\frac{ab}{10}$. Les extrémités de ces longueurs — dites cotangentes — sont marquées respectivement 1, 2, 3, 4, 5 et 10 (fig. 1).

Emploi. — Soit la distance AB à mesurer (fig. 4).

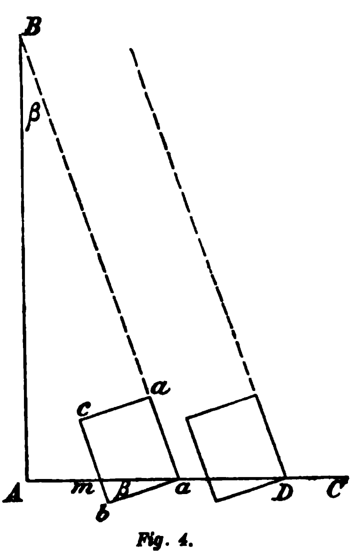


Fig. 4.

Apprécier à vue cette distance — soit 300 pas. Déterminer en A une perpendiculaire AC à AB, et se porter dans cette direction perpendiculaire à une distance de A du tiers environ de la distance appréciée — soit une centaine de pas — en D par exemple. Faire face à A.

Viser avec l'œil droit en dirigeant le rayon passant par la graduation *cotangente 3* vers A, et regarder avec l'œil gauche suivant *ad*. Si ce dernier côté, prolongé, passe au delà de B, se rapprocher de A tout en conservant le rayon passant par 3 dans la direction de ce point A.

S'arrêter quand *ad* passe par B.

En ce moment, les triangles AB*a* et *bam* sont semblables, et l'on a :

$$\frac{AB}{Aa} = \frac{ba}{bm}; \text{ or } \frac{ba}{bm} = 3; \text{ donc } AB = 3 \times Aa.$$

Retourner au point A en comptant les pas; soit 81.

La distance AB = 3 × 81 pas = 243 pas.

On pourrait se servir d'un autre facteur que celui (3) dont il vient d'être question.

En principe, pour les petites distances, on emploiera le facteur 1. Tel est le cas de la détermination de la largeur d'un cours d'eau de faibles dimensions.

Les facteurs sont désignés sous le nom de *cotangentes* sur la planchette. En effet, dans le triangle AB*a*, on a :

AB = A*a* cotang B (angle parallactique).

Note. — Dans une séance d'expérimentation, exécutée par 19 officiers, les moyennes des estimations par ce procédé ont été les suivantes :

418^m pour une distance réelle de 430^m;
31^{m}37 id. id. de 30^m.

Appréciation des différences de niveau et des pentes.

1° *Différences de niveau.* — *Théorie.* — Dans un levé à vue, le procédé le plus commode pour déterminer la différence de niveau entre deux points A et B, c'est de se placer en A, en tenant son calepin de façon que l'un des bords soit horizontal et à hauteur des yeux. Le rayon visuel mené suivant ce bord va ficher dans la pente en C, dont l'altitude au-dessus de A est égale à la hauteur des yeux de l'opérateur au-dessus du sol; soit 1^{m}60.

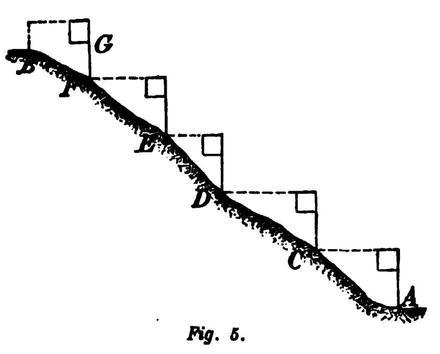


Fig. 5.

En se portant ensuite en C, et recommençant l'opération; puis celle-ci autant de fois que nécessaire, et appréciant à vue le dernier élément (soit 0^{m}72), la différence de niveau entre A et B sera, dans le cas de la figure :

$$4 \times 1^m60 + 0^m72 = 7^m12.$$

Emploi. — La difficulté du procédé en question, c'est de placer horizontalement le bord du calepin.

La planchette facilite cette opération. Il suffit, en effet, de suspendre un fil à plomb léger suivant l'un des bords du cadre pour s'assurer de la verticalité de ce bord, et de l'horizontalité du bord voisin.

2° *Pentes.* — *Théorie.* — La pente d'une droite est le rapport entre la différence de niveau de ses deux extrémités et la projection horizontale de cette droite. Ainsi la pente AC (fig. 6),

C'est $\frac{AB}{BC}$.

Pour déterminer cette pente, viser parallèlement au sol, en plantant en C un jalon dépassant le niveau du terrain d'une quantité CD, égale à la hauteur A*d* de la ligne des yeux au-dessus du sol.

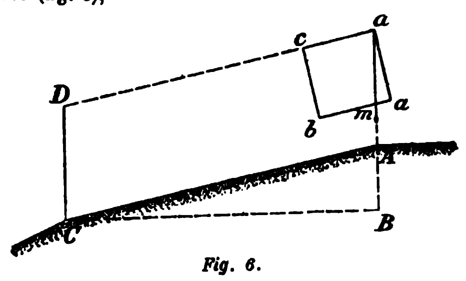


Fig. 6.

Se placer en A, avec la planchette, au sommet de l'angle *d* de laquelle on a fixé un fil à plomb léger. Viser D et marquer le point *m* du bord *ab* par lequel passe le fil.

Les triangles ABC et *adm* sont semblables.

$$\text{Donc} \quad \frac{AB}{AC} = \frac{am}{ad},$$

$$\text{pente de AC} = \frac{am}{ad}.$$

Construction de l'instrument. — Sur la planchette, le côté $ad = 0^m,140$, et le côté *ab* est divisé en parties égales à $0^m,0014$ ou égales au centième de *ad*.

Ces subdivisions sont graduées.

Si $am = 46$, par exemple,

$$\frac{am}{ad} = \frac{46 \times \frac{ad}{100}}{ad} = \frac{46}{100},$$ et la pente sera de $0^m,46$ par mètre.

Emploi. — Pour lire avec facilité la graduation marquée par le fil à plomb, il suffit de faire la visée avec l'œil qui est du même côté de la main qui tient la planchette, et de faire la lecture avec l'autre œil.

Au surplus, on pourrait tenir devant la face de la planchette un petit miroir, tel que celui d'une boîte d'allumettes-bougies, et y lire par réflexion la graduation marquée par le fil à plomb.

Puisque la planchette n'a qu'un cadran, il faut la changer de main pour passer de l'angle de dépression, par exemple, à un angle d'ascension, ou

vice-versâ. Ainsi, on tiendra la planchette de la main droite quand le point visé sera plus bas que la ligne des yeux (angle de dépression), et de la main gauche dans le cas contraire (angle d'ascension).

Le niveau de pente de la planchette donne également les différences de niveau, et dispense de viser parallèlement au sol, ce qui est un grand avantage dans les levés rapides.

Soit à déterminer la différence de niveau entre A et B (fig. 7).

Se placer en A, la planchette dans la main droite puisque B est plus bas que la ligne des yeux de l'opérateur. Viser le pied B de la pente.

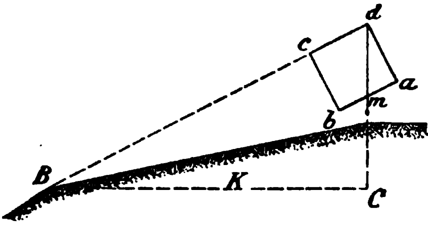


Fig. 7.

Lire la graduation, *m* par exemple.

Les triangles *d*BC et *dam* sont semblables.

Donc $\frac{dC}{BC} = \frac{am}{ad} = m$ centièmes.

D'où $dC = K \times m$ centièmes.

Or $AC = dC - dA = K \times m$ centièmes $- I$.

(Nous appelons I la hauteur des yeux de l'opérateur au-dessus du sol.)

Donc $AC = K \times \frac{m}{100} - I$.

Soit $K = 132^{ms},25$; $m = 21$; $I = 1^{m},60$

$$AC = 132^{ms},25 \times \frac{21}{100} - 1^{m},60 = 26^{ms},17.$$

Soit (fig. 8) un angle d'ascension : l'opérateur, placé en B, tient la planchette de la main gauche et vise le point A. Le fil à plomb prend une direction *dm*.

Soit *d*D l'horizontale menée par l'œil.

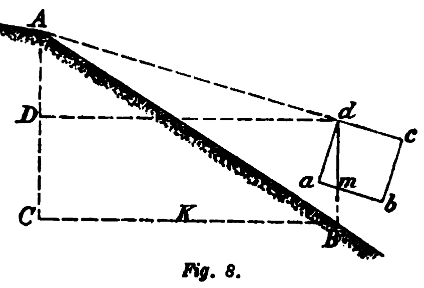


Fig. 8.

Les triangles A*d*D et *dam* sont semblables.

Donc $\frac{AD}{Dd} = \frac{am}{ad} = m$ centièmes.

D'où $AD = K \times m$ centièmes.

Or $AC = AD + DC = K \times m$ centièmes $+ I$.

Ou $Ac = K \times \frac{m}{100} + I$.

La formule générale pour les différences de niveau sera donc $dn = K \times \frac{1}{100}$ pente $\pm I$.

(On donnera à I le signe — dans le cas d'un angle de dépression, plan-

chette à droite et le signe + dans le cas d'un angle d'ascension, planchette à gauche.)

Orientation. — *Théorie*. — L'orientation à la planchette de campagne est basée sur l'ombre d'une épingle donnée par le soleil. Bien que n'étant pas absolument rigoureuse, elle est suffisante dans bien des cas, et préférable à la plupart des méthodes préconisées dans les manuels de reconnaissances.

Construction de l'instrument. — La planchette porte un demi-cercle divisé en 12 parties, et chacune de celles-ci est subdivisée en 6. Chaque partie correspond à une heure; chaque subdivision à dix minutes.

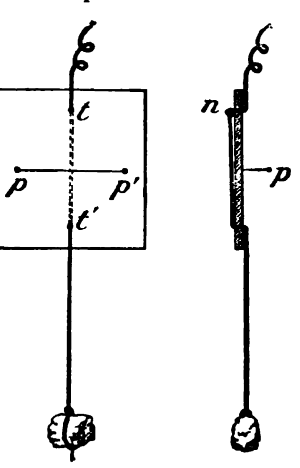
Emploi. — En plantant une épingle à 8h.20 par exemple. on tournera la planchette, en la tenant horizontalement, jusqu'à ce que l'ombre de l'épingle vienne sur la 2e subdivision qui suit VIII. La direction *épingle* — XII indiquera le nord. Pour plus d'exactitude on pourrait tenir compte de l'équation du temps et tourner la planchette de façon qu'au midi vrai l'ombre de l'épingle passe par XII. On aurait dans cette direction le nord astronomique. (Capitaine d'état-major Ducarne.)

Niveaux improvisés.

Il est beaucoup plus difficile de faire du nivellement expédié que de la planimétrie expédiée.

Les instruments de nivellement improvisés ne peuvent donner que de grossières approximations.

Le niveau à collimateur de Goulier nous paraît l'instrument qu'il convient de prendre comme type des niveaux improvisés (voir p. 174).



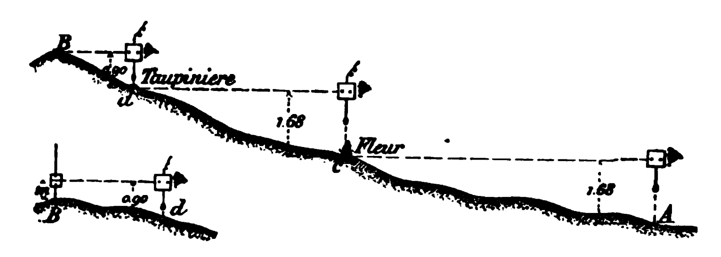
Voici un niveau à collimateur dont on trouvera toujours les éléments à sa portée et qui nous a donné des résultats aussi satisfaisants que d'autres instruments de l'espèce, plus longs, plus difficiles ou plus délicats à construire.

On prend un morceau de carton ou une planchette de caisse à cigares de 10 à 15 centimètres carrés; on la perce de deux trous t et t' par lesquels on fait passer un gros fil ou un bout de ficelle qui serre dans les trous; un gros nœud

n, fait dans la ficelle, empêchera que le carton s'échappe lorsqu'on tiendra la ficelle par un bout; on élève une perpendiculaire *pp'* à *tt'*; on pique, normalement à la planchette, des épingles ou des pointes de Paris en *p* et en *p'*; on suspend une masse (plomb, clef ou pierre assez pesante) à l'une des extrémités de la ficelle : l'instrument est construit.

On tient le fil à plomb par l'extrémité libre de la ficelle : les deux pointes *p* et *p'* déterminent une horizontale.

Emploi. — On nivelle en montant. On tient l'instrument à hauteur de l'œil, 1m,68 par exemple (hauteur personnelle). On vise par les épingles, on remarque sur le sol le point C où



l'horizontale va ficher dans le terrain (une pierre, une taupinière, une motte de terre, une fleur, une touffe d'herbes, le pied d'un arbrisseau, les pieds d'un aide, un signal quelconque désignera le point C).

On se transporte en C et on renouvelle l'opération.

On peut déterminer la hauteur de l'œil au-dessus du sol lorsqu'on opère étant accroupi, 0m,90 par exemple.

La différence de niveau entre A et B est

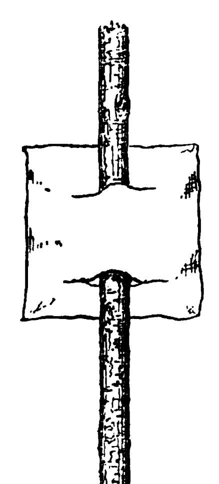
$$dn = 2 \times 1^m{,}68 + 0^m{,}90.$$

Si l'on n'a pas exactement 1m,68 ou 0m,90 pour la dernière portée, on estime à vue la différence *m*, ou bien on plante en B un petit bâton dans lequel on a passé un morceau de papier en guise de voyant; on emploie tout autre procédé que font naître les circonstances.

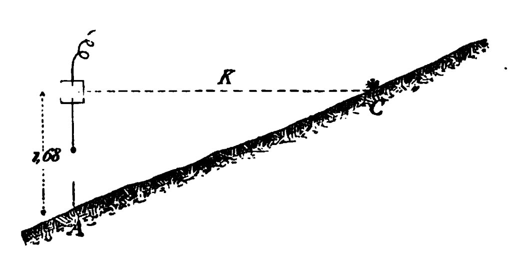
La différence de niveau entre *d* et B = 0,90 — *m*.

Une perche, dans laquelle on passerait un papier résistant,

pourrait servir de mire de nivellement : si l'on avait un aide à sa disposition, on procéderait absolument comme avec le niveau à collimateur de Goulier et une mire à coulisse (méthode depuis le milieu).



On vérifierait et l'on corrigerait l'instrument en faisant une double visée, épingle p en avant d'abord, puis épingle p' en avant : on déplacerait, en tâtonnant un peu, une des deux épingles jusqu'à ce que l'horizontale soit obtenue (voir page 197).



Pour déterminer la pente d'un terrain de pente régulière (uniforme), on mesurerait seulement AC.

$$\text{pente} = \frac{1,68}{K} = \frac{1,68}{\sqrt{\overline{AC}^2 - \overline{1,68}}}.$$

En général, on pourra prendre simplement

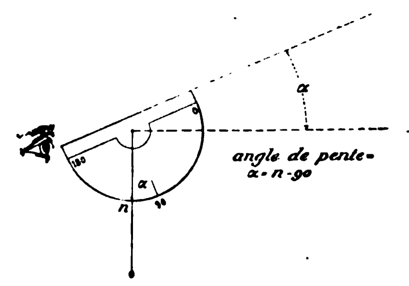
$$\text{pente} = \frac{1,68}{AC}.$$

La planchette du major Ducarne (voir page 267).

Rapporteur. — On peut se servir d'un rapporteur, au centre duquel on attache un fil à plomb. (Le moyen d'attache pratique est à trouver.)

On vise parallèlement au sol par la ligne de foi, la convexité du rapporteur étant tournée vers le bas. Le fil s'arrête devant une division du limbe, qui exprime l'angle nadiral ou l'angle zénithal, suivant la façon dont on dispose le diamètre 0-180

pour faire la visée. L'angle de pente est égal à l'angle nadiral (ou zénithal) diminué de 90 degrés.



Le rapporteur *ordinaire* est, à notre avis, un mauvais instrument pour exécuter un levé expédié, aussi bien pour la planimétrie que pour le nivellement.

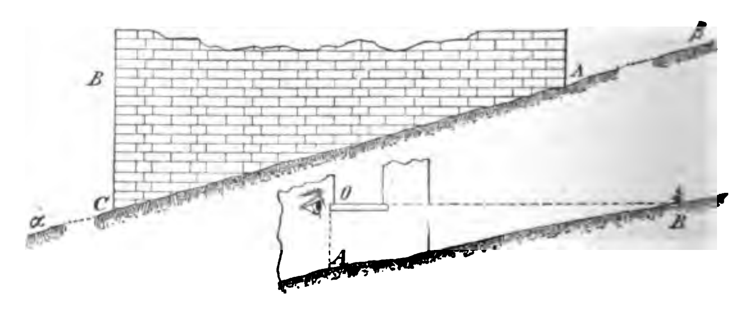
Notre opinion n'est pas celle de certains auteurs.

Il y a lieu de remarquer aussi que nous n'avons pas, en Belgique, l'habitude d'exprimer les pentes en degrés (voir pages 87, 92 et 94 de la 1re Partie).

Niveau de maçon. — S'il s'agissait de construire un ouvrage de fortification de campagne, et s'il était nécessaire de déterminer des horizontales avec quelque exactitude, on fabriquerait un niveau de maçon : trois morceaux de latte assemblés en triangle au moyen de clous ou de cordes ; une ficelle ; une balle, une cartouche ou un caillou en constitueraient les matériaux. On déterminerait la ligne de foi comme il a été indiqué page 171.

On trouvera parfois une horizontale, dans la nature ou dans les constructions, à l'endroit où l'on opère.

Eau. — La surface des eaux tranquilles est horizontale : si l'on fait le levé rapide d'un ouvrage de fortification en site



aquatique, par exemple, on utilisera le grand niveau formé par les fossés qui communiquent entre eux.

Bâtiments. — S'il s'agit de déterminer la pente d'un chemin, et que l'on se trouve à proximité d'une habitation, on met à profit les rangées de briques, les tablettes des fenêtres, les pierres de taille en saillie, etc. : on suit le tas de briques AB, le plus bas qui reste entièrement à découvert, on mesure AB et BC.

$$\text{Pente} = \frac{BC}{AB}.$$

Si l'on voulait la différence de niveau des deux points α et β de la route et que la *pente fût régulière*, on aurait :

$$dn = BC \times \frac{\text{distance des deux points } \alpha \text{ et } \beta}{AC}.$$

On vise le long d'une tablette de fenêtre et l'on reconnaît, à un détail marquant du terrain, le point B où le rayon visuel va ficher dans le sol.

On a : $$\text{pente} = \frac{OA}{OB}.$$

Pratiquement on prend : $\text{pente} = \frac{OA}{AB}$

et $$dn = OA \times \frac{\text{distance des points à niveler}}{AB}.$$

On pourrait citer une foule d'opérations sommaires de ce genre.

Mesure des hauteurs.

En reconnaissance, on aura souvent à déterminer la hauteur du tablier d'un pont au-dessus du sol, la hauteur moyenne des arbres, la hauteur d'un mur ou d'un édifice, etc.

Si l'on peut monter sur un pont ou sur un mur et laisser descendre un fil à plomb, il paraît superflu de dire qu'on utilisera ce moyen; si l'on a une perche à sa disposition, on s'en servira.

A défaut de ces moyens, le suivant donne de bons résultats :

On compte les rangées de briques ou de pierres de taille,

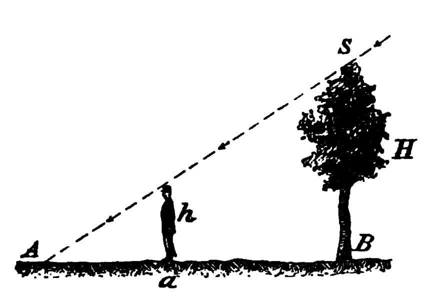
comprises entre le sol et le point dont on cherche la hauteur; on détermine l'épaisseur moyenne d'un tas de briques ou de pierres.

Pour déterminer la hauteur moyenne d'un tas de briques, on peut se servir de sa *taille :* on étend les bras les mains ouvertes, on place l'extrémité des doigts d'une main sur le sol et, les bras étant disposés verticalement, on marque l'endroit où l'extrémité des doigts de l'autre main arrive sur le mur; on compte les rangées de briques et l'on divise sa taille par le nombre de tas.

Exemple. — On a compté 65 tas de briques entre le sol et le point le plus bas du tablier d'un pont; en étendant verticalement les bras, on intercepte 25 rangées de briques; on a une taille de $1^{m},76$.

Un tas de briques a donc une épaisseur moyenne de $\frac{1,76}{25} = 0^{m},07$ et la hauteur du tablier du pont au-dessus du sol est de $65 \times 0^{m},07 = 4^{m},55$.

Au lieu de sa taille, on peut utiliser les bords d'une feuille au 40,000^{e} ou d'uu sixième de la carte au 160,000^{e}, ou bien encore les échelles de ces cartes.



Pour estimer la hauteur des arbres (et aussi des murs), on peut se servir des *ombres* produites par l'interception des rayons du soleil.

On marche du pied de l'arbre vers l'extrémité de son ombre, on s'arrête lorsque l'extrémité de son képi apparaît à l'extrémité de l'ombre de l'arbre :

$$\frac{H}{h} = \frac{AB}{Aa}; \quad \text{d'où } H = \frac{h \times AB}{Aa}.$$

On mesure, au pas ou autrement, Aa et AB; on sait que h, la hauteur à laquelle se trouve la partie supérieure de son képi, lorsqu'on se tient bien droit, est de $1^{m}80$ par exemple.

On fabriquera très facilement un instrument qui permettra de construire des triangles rectangles isocèles : on dessinera

un carré sur la couverture d'un carnet de notes (en menant une parallèle à un des petits côtés à une distance égale à la longueur de ce côté); on piquera une épingle dans l'angle *b*, sur la diagonale *bd;* on suspendra en *b* un fil à plomb.

On visera le sommet S de la hauteur à évalaer par le bord *ab* du carnet; on avancera ou on reculera jusqu'à ce que, le rayon visuel *ab* passant toujours par S, on sentira avec le doigt battre le fil à plomb sur le sommet de l'angle *d*.

$$H = pP + h.$$

On mesurera au pas la distance *p*P, à laquelle on ajoutera sa taille.



Il existe une quantité d'autres procédés pour évaluer les hauteurs.

Ceux que nous venons de donner nous semblent les plus pratiques pour l'officier en reconnaissance.

Levé expédié (levé à vue).

Ce que l'on désigne souvent sous le nom de levé expédié, ou de levé à vue, c'est un levé *complet*, exécuté rapidement, d'une façon méthodique, mais à l'aide d'instruments improvisés ou d'instruments dits de reconnaissance.

Des auteurs donnent des règles précises pour exécuter de toutes pièces les opérations de levé *à vue* qui demandent une semaine et plus encore de travail et qui embrassent de grandes étendues de terrain : en réalité, ces règles ne sont et ne peuvent être que celles qui ont été établies pour l'exécution d'un levé régulier, et ces levés à vue ne sont que des levés réguliers effectués dans de mauvaises conditions de temps, d'installation et d'outillage.

En Europe, et particulièrement en Belgique, nous ne voyons pas quand un officier pourrait être appelé à faire un levé à vue



de ce genre. Nous avons d'excellentes cartes, nos états-majors, nos régiments, nos bataillons, voire même nos compagnies, nos escadrons et nos batteries emportent en campagne la collection complète des feuilles au 40.000e; tous les officiers possèdent une fort bonne carte du pays au 160.000e : on ne pourra demander à l'officier en manœuvres ou en campagne que de vérifier, de rectifier et de compléter les renseignements fournis par la carte au 40.000e; on n'aura d'intérêt militaire qu'à le charger de faire un agrandissement d'une partie nécessairement fort restreinte de la carte, avec addition de détails topographiques *utiles au point de vue spécial des opérations de guerre que l'on en a vue,* détails que l'échelle de la carte n'a pas permis de mentionner ou qu'il a été impossible d'exprimer sur cette carte autrement que par des signes conventionnels [1].

L'officier chargé d'un levé de l'espèce, qui n'est en somme qu'une reconnaissance topographique militaire dont nous parlerons dans la 4e Partie, commencera par utiliser sa carte pour l'établissement d'un canevas. Il n'aura donc pas à lever un canevas comme dans l'exécution d'un levé régulier, ou d'un levé à vue du genre que nous avons cité plus haut : c'est là une différence capitale que nous tenons à bien faire remarquer.

Au canevas fourni par la carte, qui sera construit à grande échelle si c'est nécessaire, il rattachera les détails que lui indiquera le but spécial de la reconnaissance qui lui est confiée.

En résumé, ses opérations sur le terrain seront une série de *petits levés expédiés, de croquis militaires* dont nous allons parler, *qui rempliront les mailles du canevas extrait de la carte.*

Ces petits levés se feront le plus souvent à vue, mais aussi

---

[1] Modification profonde dans la tactique de marche au début des campagnes de la Révolution française. Pénurie de cartes topographiques au commencement de ce siècle. Nécessité de faire des reconnaissances topographiques plus complètes qu'aujourd'hui. Progrès réalisés dans la cartographie et dans la vulgarisation des documents topographiques. Beaucoup d'auteurs modernes ne nous paraissent pas tenir assez compte de ces progrès, lorsqu'ils traitent des levés à vue et des reconnaissances topographiques.



quelquefois à l'aide d'instruments improvisés : ils seront exécutés d'après les principes établis pour le levé des détails dans les opérations régulières (p. 24 et instruments divers).

Comme instruments improvisés, nous recommandons l'équerre allemande (p. 85) pour la généralité des cas et le genre planchette topographique lorsque, exceptionnellement, le levé expédié sera très important.

Au Congo, par exemple, on pourrait être dans la nécessité d'exécuter ce que l'on appelle improprement un levé à vue. Pour ce cas spécial, nous n'avons pas de méthode particulière à exposer; tout dépendra des moyens dont on disposera : on cherchera à mener les opérations, autant que possible, d'après les règles établies pour un levé régulier.

On aura emporté de petits instruments perfectionnés avec soi, ou l'on fabriquera sur les lieux des instruments aussi pratiques et aussi exacts que les circonstances le permettront; on emploiera ces instruments d'une façon analogue à celle que nous avons indiquée pour l'instrument de topographie régulière du même type.

Comme instrument improvisé, le genre planchette topographique nous paraît le meilleur, si toutefois on possède le nécessaire pour exécuter immédiatement le dessin; s'il fallait se contenter de noter les observations, et remettre à plus tard les constructions sur le papier, la planchette du major Ducarne pourrait rendre d'excellents services [1].

Nous avons levé, à l'échelle du 5.000e, un kilomètre carré environ, en six ou sept jours, lorsque nous étions à l'École de guerre, à l'aide de la planchette du major Ducarne : bien que notre levé donnât tous les renseignements que l'on trouve sur une feuille au 20.000e, la planimétrie ne laissait absolument rien à désirer. Nous n'avons pas réussi dans nos essais de nivellement au moyen de cet instrument.

Pour niveler rapidement, il n'y a que le baromètre orométrique qui soit tout à fait recommandable.

---

1 Nous préférons que la planchette ne soit pas vernie.



Croquis militaires.

Croquis, dans le langage usuel, signifie esquisse rapide, dessins à grands traits caractéristiques : ce n'est pas la signification que l'on attache à ce mot dans le monde militaire ; croquis, au contraire est généralement pris dans le sens de ***plan détaillé à grande échelle,*** et n'est esquisse que par le peu de fini et de correction du dessin, que l'on exécute rapidement et dans de mauvaises conditions de temps, d'installation et d'outillage.

Le croquis le plus en usage est une reproduction, ou un agrandissement, d'une portion peu étendue d'une carte ; avec addition de détails que celle-ci ne donne pas, ou n'exprime que trop sommairement (par des signes conventionnels par exemple).

Voir *Reconnaissance,* 4e Partie.

Pour établir un croquis, on commence donc par utiliser la carte.

Si, exceptionnellement, l'échelle du croquis est la même que celle de la carte, on peut :

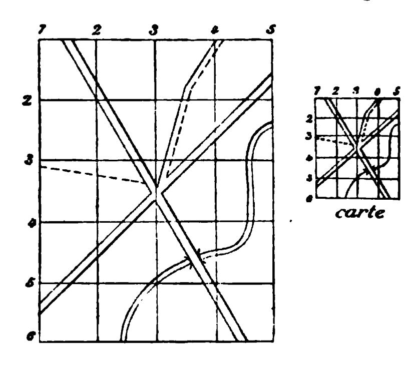
1° Calquer les grandes lignes de celle-ci à la vitre ou sur une glace inclinée, sous laquelle arrive la lumière du jour ou une lumière artificielle ;

2° Calquer les grandes lignes sur du papier transparent ; puis reporter cette première copie sur une feuille de papier ordinaire, en frottant le verso du transparent avec de la plombagine (du crayon noir) ou un crayon bleu, et en repassant les traits du calque, appliqué sur le papier destiné à recevoir le dessin, avec la pointe d'un crayon dur ou d'une pointe à calquer ; ou bien encore, au lieu d'enduire le verso du calque de plombagine, interposer entre les deux feuilles un papier à impression que l'on trouve tout préparé dans le commerce.

3° Placer le papier de dessin sous la carte et piquer à travers celle-ci, avec une aiguille, les points principaux du croquis (sommets des angles des polygones de la planimétrie) ; enlever la carte et tracer légèrement au crayon, en allant d'un point à l'autre ; achever ensuite le dessin, en se guidant sur le canevas.

Quadrillage. — On peut encore copier la carte, ou en faire un agrandissement, par le procédé de carroyage ou quadrillage.

On partage la surface du modèle en carrés ou en rectangles par deux système de lignes parallèles équidistantes, tracées légèrement au crayon; on fait la même division, à l'échelle adoptée pour le croquis, sur la feuille de papier destinée à recevoir la copie ou l'agrandissement. On dessine ensuite les grandes lignes du modèle, puis les détails de proche en proche, en les rapportant, soit à vue, soit par des constructions géométriques, aux lignes du quadrillage.



Si l'on craint de souiller la carte en y traçant des lignes, on la couvre d'un papier transparent quadrillé, ou de fils tendus à distance convenable sur des épingles fixées dans une table.

En général, il suffira d'un quadrillage très sommaire, qui permettra de déterminer exactement quelques grandes lignes (routes, chemins et cours d'eau surtout); ces lignes serviront d'axes auxquels on rapportera, le plus souvent à vue, les autres détails.

Quel que soit le procédé que l'on emploie, *on ne copie jamais servilement* la carte; on ne reproduit pas, sur le croquis, les détails dont on n'a que faire dans des circonstances où l'on se trouve placé.

Voir *les croquis de reconnaissance* de la 4e Partie.

Le croquis étant établi au crayon d'après la carte, on se rend sur le terrain et on l'achève à vue, si l'on a quelque expérience en topographie.

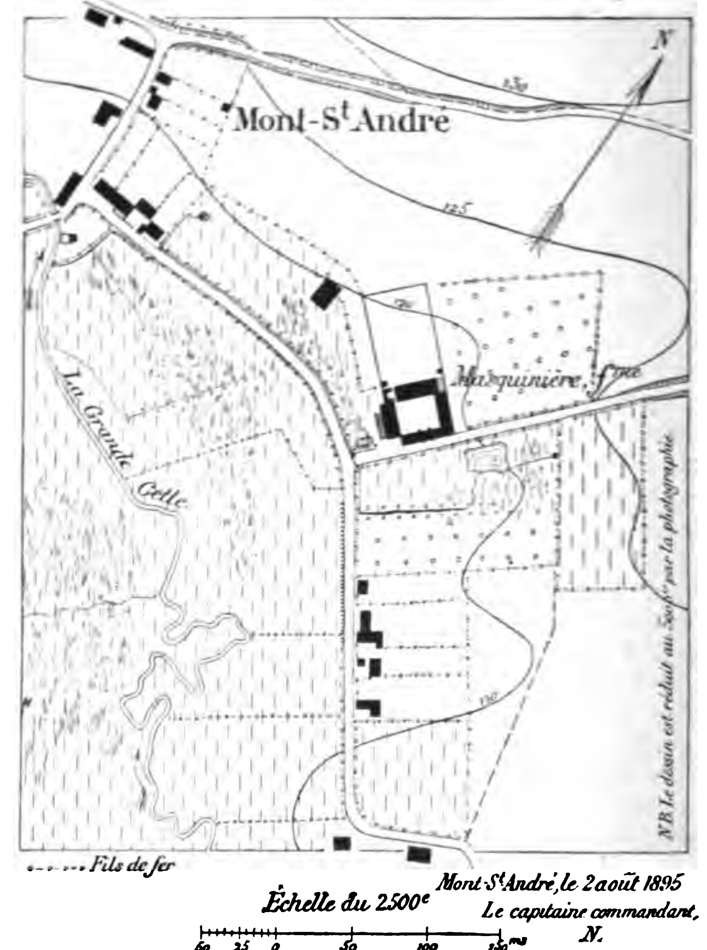
S'il s'agissait de faire le croquis très exact d'un détail tactiquement important, (un groupe d'habitations, une ferme avec ses dépendances, un rétrécissement de grand'route, les abords d'un pont, etc.), on fabriquerait des instruments : une équerre allemande et un décamètre en corde par exemple.

On ferait alors un levé à l'équerre, en prenant pour axes des

lignes de la carte reportées à l'échelle sur le croquis (voir *Equerre*, page 86).

10e Régiment de ligne

2e Bataillon. *2e Compagnie.*



REMARQUES. — Les croquis doivent être, autant que faire se peut, passés

à l'encre noire [1]; on teinte ensuite les eaux au crayon bleu, les routes et les chemins pavés ou empierrés au crayon rouge.

Les écritures doivent être régulières et faites parallèlement au bord inférieur de la feuille de papier, excepté les écritures se rapportant aux cours d'eau et aux voies de communication : des écritures soignées relèvent le dessin et en rendent la lecture plus facile, des écritures mal faites embrouillent le meilleur dessin.

Il ne faut jamais négliger d'indiquer l'échelle adoptée pour le croquis : on construit une échelle linéaire en dehors du cadre ou du dessin, ou bien on donne l'échelle sous forme de fraction $\frac{1}{M}$ (voir 1re Partie, page 25).

On place, dans un endroit du croquis dépourvu de détails, une flèche d'orientation.

Un croquis doit être daté et signé.

---

[1] On trouve de l'encre partout.

FIN.

PROGRAMME DU LEVÉ A LA BOUSSOLE-ÉCLIMÈTRE.

I. — DISPOSITIONS ET PRÉPARATIFS DIVERS.

La promotion est divisée en deux sections de... ateliers.

Un atelier se compose de 4 ou 5 élèves. Chaque atelier lève, à l'échelle du 2.000e, environ 50 hectares (ordinairement un rectangle de 800 mètres de base et 600 mètres de hauteur).

Le professeur désigne le terrain affecté à chaque atelier au moyen de la feuille de Bruxelles au 40.000e et en rapportant le point de départ A des opérations et le côté AB du polygone de base du canevas à deux côtés du rectangle à lever pris pour axes.

Les instruments sont reçus, le premier jour, au cabinet de topographie de l'École militaire, à 8 heures du matin. Le chef d'atelier, qui est le plus ancien du groupe, après vérification des deux listes des instruments qui lui sont destinés, signe une de ces listes pour reçu et garde l'autre.

Les listes sont établies par le conservateur du musée de topographie.

Il y a par atelier : une boussole-éclimètre, une mire de l'Institut, une équerre et une chaîne d'arpenteur, un fil à plomb, quatre jalons, un fanion tricolore, 25 petits piquets et autant de planchettes de dessin (avec piquets et toile cirée) que l'atelier compte d'élèves. Quand les circonstances le permettent, les planchettes de dessin sont remises aux élèves quelques jours avant l'ouverture des travaux sur le terrain.

Pour les promotions d'infanterie et de cavalerie, la planchette de dessin du chef d'atelier est remplacée par une planchette à calotte sphérique de Goulier (avec trépied) et les ateliers reçoivent de plus, pendant le levé, une alidade à lunette, un niveau Lenoir ou un niveau à axe de rotation et une mire de nivellement (mire parlante ou mire à coulisse).

Chaque élève emporte sur le terrain : une règle plate de 30 à 40 centimètres de longueur, un double décimètre, un compas à pointes sèches, un rapporteur divisé en grades, un crayon dur, une gomme, un canif, un programme du levé à la boussole, un carnet d'inscriptions (carnet de nivellement), une table de réduction et un cahier de calculs.

Les instruments sont vérifiés par le mécanicien de l'École, avant la distribution qui en est faite aux ateliers; cependant, ceux-ci procèdent, dans la matinée du premier jour du levé, à une vérification complète de tout leur matériel et présentent, éventuellement, leurs observations à Monsieur le répétiteur qui a la direction de la section dont l'atelier fait partie.

Les élèves ont eu soin de vérifier leurs règles et leurs rapporteurs, et de faire mettre leurs compas en parfait état.

Travail préparatoire. — Les ateliers étant formés, et le terrain affecté à chacun d'eux étant désigné, les élèves tracent, à l'encre de Chine, les limites de ce terrain sur la planchette d'Uccle ou sur la feuille de Bruxelles au 40.000^{e}; puis ils en font un croquis au 5.000^{e} sur feuille volante.

Ce croquis, dessiné au crayon d'après la carte, ne mentionne que les grands détails de la planimétrie, particulièrement les voies de communication : il est destiné à faciliter la reconnaissance du premier jour et à recevoir le canevas des opérations de la planimétrie.

Autant que possible la veille du jour fixé pour l'ouverture des travaux, chaque élève trace au crayon sur sa planchette de dessin, destinée à recevoir la minute du levé, le cadre qui limitera ce levé : ordinairement un rectangle de $0^{m},40$ de base et $0^{m}30$ de hauteur.

Il marque ensuite le point de départ A [1] des opérations, et trace le premier côté AB du polygone de base, d'après les indications du programme particulier donné par le professeur. Il construit enfin, avec le plus grand soin, sous le bord inférieur

[1] Tout sommet est marqué sur la minute en enfonçant la pointe sèche du compas dans le papier, le point ainsi obtenu est ensuite entouré provisoirement d'un petit cercle au crayon.



du cadre (bord sud du levé), une échelle de transversales au 2.000^e, et la passe à l'encre de Chine. (L'encre doit être bien limpide et pas trop noire.)

L'échelle aura une longueur de 0^m,20, y compris le talon; l'intervalle entre les parallèles sera de 0^m,002.

Ordres. — Éviter avec le plus grand soin de piétiner les récoltes. Quand, exceptionnellement, il faudra stationner dans les champs, deux élèves seulement iront faire les observations.

Le porte-mire devra toujours suivre les chemins ou les sillons.

Le fanion de l'atelier sera planté en un endroit tel qu'on l'aperçoive de loin.

Sous aucun prétexte, un élève ne pourra sortir des limites du terrain affecté à son atelier.

Le chef d'atelier dirigera le travail de son groupe; il devra toujours savoir où se trouvent tous les élèves de son atelier et ce qu'ils font.

Pendant les huit premiers jours du levé, les élèves resteront groupés; ils ne pourront se disperser que pour le levé des détails.

II. — OPÉRATIONS DU 1er JOUR.

Le matin, tous les instruments sont transportés sur le terrain. On n'emporte cependant ce jour-là qu'une seule planchette de dessin par atelier.

Pendant le levé, les instruments sont déposés dans l'estaminet où l'atelier se réunit pour prendre son déjeuner de midi à une heure. Cet estaminet doit être choisi dans les limites du terrain affecté à l'atelier; cependant si les élèves ne trouvaient pas, dans ces limites, un établissement convenable, ils demanderaient à Monsieur le répétiteur de leur section l'autorisation de s'installer ailleurs.

La matinée et une partie de l'après-midi sont consacrées à la vérification du matériel, au réglage du niveau de la boussole, à la détermination expérimentale du coefficient de la lunette-stadia, à la recherche de l'erreur de collimation de l'éclimètre et au levé de l'azimut du côté de départ AB du polygone de base.

La reconnaissance du terrain et le tracé du canevas des opé-

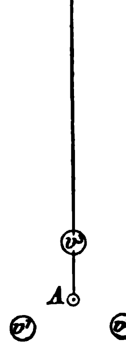
rations sur le croquis au 5.000e absorbent les dernières heures de la journée.

Le soir, à l'École militaire, chaque élève trace, avec un soin minutieux, sur sa planchette minute, un treillis de méridiens et de parallèles équidistants de 0m,05; ce treillis est passé au carmin. Le second jour du levé au matin, tous les élèves emportent leurs planchettes minutes sur le terrain.

REMARQUE. — Le point A du terrain n'est désigné qu'approximativement par le professeur; l'atelier le détermine d'une façon absolue en veillant à ce qu'il convienne comme sommet du canevas (comme point de départ, point de fermeture, etc.), et à ce qu'il ne soit pas dans le voisinage immédiat d'ouvrages en fer qui feraient dévier l'aiguille aimantée (attention surtout aux poteaux indicateurs et aux réverbères, prendre l'azimut réciproque).

Le point A étant choisi judicieusement, on enfonce en ce point un petit piquet dont la tête ne dépasse pas le sol. Des piquets de l'espèce, destinés à rester en place, seront enfoncés en tous les points du canevas, afin qu'on puisse retrouver aisément ces points pour le levé des détails et les opérations du nivellement.

Mise en station au point A. — La boussole étant fixée sur la tête de son trépied, amener les écrous des vis calantes et de la vis de rappel de l'éclimètre au milieu de ces vis; ouvrir également les pieds de l'instrument, le soulever d'une pièce et placer son centre à vue dans la verticale de A, deux des vis calantes v^1 et v^2 dans une direction perpendiculaire au côté AB et le plateau du trépied sur lequel repose les pointes des vis calantes aussi horizontal que possible. S'assurer de ce que le centre de l'instrument est dans la verticale de A en laissant descendre un fil à plomb; rectifier si c'est nécessaire, en ouvrant ou en resserrant les branches du trépied ou en soulevant et en déplaçant l'instrument tout entier, si la mise en station à vue n'a pas été suffisamment bien faite. Enfoncer ***solidement*** les pieds dans le sol en veillant à ce que le plateau du trépied, support des vis calantes, reste horizontal. Placer le niveau (la lunette) dans une direction perpendiculaire à AB; appeler la bulle entre ses repères, en agissant sur



une des deux vis calantes v^1 ou v^2 parallèles à la lunette; diriger la lunette sur B, appeler la bulle entre ses repères à l'aide de la troisième vis calante v^3.

Réglage du niveau. — Amener de nouveau la fiole dans une direction parallèle aux vis calantes v^1v^2, caler le niveau (appeler la bulle entre ses repères) au moyen de la vis v^1. Placer la lunette dans une direction perpendiculaire à sa première position, caler ***soigneusement*** le niveau au moyen de la vis v^3. Faire exécuter à la boîte de la boussole, entraînant la fiole dans son mouvement, une demi-rotation autour de l'axe de l'instrument (exactement 200 grades constatés à la pointe bleue de l'aiguille). Si la bulle revient entre ses repères, c'est que le niveau est réglé; si elle se dérange, la ramener vers le milieu de la fiole ***de la moitié de l'écart constaté,*** au moyen de la (ou des) vis de réglage du niveau. Recommencer une ou deux fois ***toutes les opérations.***

Le niveau étant réglé, si l'instrument est muni de deux vis de réglage, visser à fond la vis supérieure, avec grandes précautions pour ne pas dérégler le niveau.

On ne touchera plus au niveau pendant le levé qu'en cas d'accident. Les dérangements qui pourraient se produire ne seront jamais importants et les erreurs qui en résulteraient seront éliminées par la correction de collimation.

Vérification de la boussole-éclimètre stadia. — Les vérifications relatives à la construction de l'instrument ont été faites et le mécanicien de l'École a reçu l'ordre de mettre toutes les boussoles en parfait état.

S'assurer surtout de ce que l'aiguille est sensible et revient exactement vis-à-vis de la même division du limbe, après une dizaine d'oscillations régulières, lorsqu'on l'a attirée fortement à travers le verre qui la recouvre, au moyen d'un trousseau de clefs. Examiner si l'aiguille est bien en équilibre quand l'instrument est ***en station,*** c'est-à-dire si les deux pointes rasent le bord du limbe. Pointer la lunette sur un fil à plomb ou sur une arête de mur très nette et s'assurer de ce que le fil qui doit être vertical répond à cette condition; corriger au besoin sa position (en desserrant la vis du porte-réticule et en faisant tourner celui-ci dans le tube principal).

Les autres vérifications se feront naturellement pendant les opérations qui vont suivre.

On comptera les azimuts à partir de la méridienne ***magnétique***. Placer, par conséquent, le zéro du limbe mobile de la boussole sous l'index du diamètre parallèle à l'axe optique de la lunette et serrer à fond la vis du limbe, qui occupera cette position pendant toute la durée des opérations du levé.

Détermination expérimentale de Q, le coefficient de la lunette. — L'opération se fait, autant que possible, lorsque l'instrument est ***en station*** en A ou en B, suivant que le terrain est incliné vers B ou vers A; supposons qu'on opère de la station B [1].

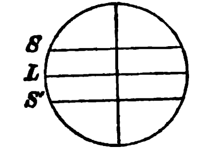
Mesurer sur BA, à la chaîne d'arpenteur, à partir de B, deux distances : 75m30 et 150m30, par exemple. (Prendre la précaution de chaîner en retour comme vérification.)

Faire tenir successivement la mire, ***bien verticalement***, à l'extrémité de chacune de ces distances, et prendre la hauteur de mire comme suit :

1re distance (75,30). Caler le niveau dans deux directions perpendiculaires, si cette opération n'a pas été faite déjà.

Mettre la lunette ***à sa vue***, c'est-à-dire visser plus ou moins l'oculaire dans le tube porte-réticule jusqu'à ce qu'on aperçoive nettement les fils du réticule.

Diriger la lunette vers la mire; desserrer de la main gauche la pince de l'éclimètre, tandis que la main droite saisit la lunette près de l'oculaire; placer l'œil à l'oculaire, imprimer un mouvement plongeant à la lunette à l'aide de la main droite et faire passer, aussi approximativement que possible, l'axe optique (la croisée des fils diamètres) par le centre du voyant supérieur de la mire; serrer la pince de l'éclimètre. Amener le fil diamètre horizontal L du réticule ***exactement*** sur la ligne de foi du voyant supérieur, au moyen



---

[1] Si le côté AB ne convenait pas, on chercherait, dans les environs du point A, un terrain uni, légèrement en pente, d'une profondeur d'une centaine de mètres au moins, sur lequel on ferait l'étalonnage de la stadia.



de la *vis de rappel* de l'éclimètre, que l'on manœuvre de la main droite.

S'assurer alors de ce que la lunette est au point : la lunette est au point lorsque l'image du voyant est fort nette et se forme dans le plan du réticule; l'image est dans le plan du réticule lorsque, si l'on abaisse ou si l'on élève l'œil à l'oculaire, on constate que la ligne de foi du voyant se maintient en coïncidence parfaite avec le fil L du réticule; si la ligne de foi semble s'abaisser ou s'élever, on éloigne ou l'on rapproche le réticule de l'objectif de la lunette au moyen de la crémaillère fixée sur le tube principal.

La mise au point doit être faite pour chaque distance; *elle est tout à fait indispensable,* car, si la lunette n'est pas au point, on lira une hauteur de mire trop grande ou trop petite.

La lunette étant pointée sur le voyant supérieur, faire élever le voyant mobile de la mire, par le porte-mire, jusqu'à ce que sa ligne de foi vienne en coïncidence *parfaite* avec le fil supérieur S du réticule.

Pour la manœuvre du voyant mobile, le topographe agit par signes de la main droite : il étend d'abord horizontalement le bras droit, puis imprime de petits mouvements d'élévation ou d'abaissement au bras et à la main, suivant qu'il veut faire abaisser ou élever le voyant.

(Remarquer que la mire est vue renversée et que les signes doivent être faits en sens inverse du mouvement du voyant que l'on veut obtenir).

Le fil L *passant par la ligne de foi du voyant supérieur et le fil* S *par la ligne de foi du voyant mobile,* faire serrer la vis de pression du voyant mobile et lire à l'index de ce voyant la hauteur de mire; noter cette hauteur, h par exemple.

Faire abaisser le voyant mobile de quelques centimètres, recommencer l'opération, lire et noter la nouvelle hauteur h'. Si les deux hauteurs de mire ne diffèrent pas de plus de deux millimètres, en prendre la moyenne $\frac{h + h'}{2}$. Si les hauteurs de mire diffèrent de plus de deux millimètres, en observer une troisième et au besoin une quatrième. Les discordances constatées pro-

viennent de ce que le topographe est peu expérimenté ou de ce que l'aide ne tient pas correctement la mire. (Généralement, l'aide penche la mire en avant pour hisser le voyant et, lorsqu'il cesse la manœuvre et reprend la mire des deux mains et l'immobilité, on constate que la coïncidence n'existe plus; il faut alors rectifier.)

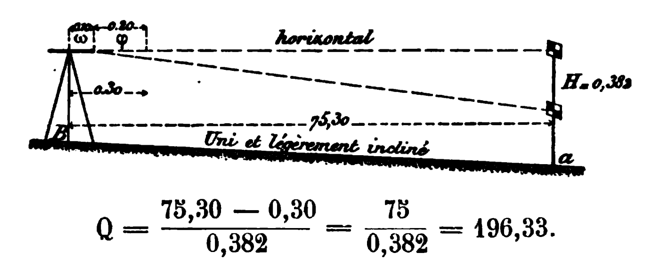
Supposons $$\frac{h + h'}{2} = \mathrm{H} = 0{,}382.$$

Le coefficient Q de la lunette sera

$$\mathrm{Q} = \frac{\mathrm{B}a - (\varphi + \omega)}{\mathrm{H}}.$$

Pour nos lunettes $\varphi = 0{,}20$ et $\omega = 0{,}10$, d'où $(\varphi + \omega) = 0{,}30$.

Si l'on introduit les chiffres de l'hypothèse dans la formule :



$$\mathrm{Q} = \frac{75{,}30 - 0{,}30}{0{,}382} = \frac{75}{0{,}382} = 196{,}33.$$

Faire tenir la mire à 150m30 et répéter les mêmes opérations.

On trouvera un coefficient Q′, qui ne sera pas mathématiquement égal à Q.

Il serait désirable que Q et Q′ ne différassent au plus que de quelques centièmes; cependant, s'ils ne diffèrent que de 0,30, on adoptera provisoirement comme coefficient

$$\frac{\mathrm{Q} + \mathrm{Q}'}{2}.$$

Les côtés du polygone de base et des traverses seront mesurés à la chaîne chaque fois que le terrain s'y prêtera : ce seront autant de vérifications et d'exercices pratiques que l'on mettra à profit pour arriver à déterminer exactement le coefficient et à lire correctement les hauteurs de mire.

On mesurera AB à la chaîne et à la lunette et l'on obtiendra un coefficient Q″ dès le premier jour.

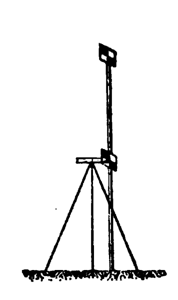
Le lendemain, on se servira du coefficient

$$\frac{Q + Q' + Q''}{3}.$$

Le topographe ne devient habile qu'après une série plus ou moins longue d'exercices.

Recherche de la correction de collimation et levé de l'azimut AB. — La boussole étant en station en A, comme il a été dit plus haut et comme nous avons pris la précaution de la mettre en arrivant pour effectuer toutes nos opérations du premier jour AB, diriger à vue la lunette *vers* B.

Amener le trait O du vernier en coïncidence avec la division 100 de l'éclimètre, appeler la bulle entre ses repères. Tenir la mire verticalement en face de l'objectif de la lunette, élever le voyant mobile jusqu'à ce que sa ligne de foi arrive à hauteur du centre de l'objectif, serrer fortement la vis de pression du bracelet du voyant, pour qu'il se maintienne à cette hauteur. Envoyer le porte-mire au point B.



Pointer la lunette sur le voyant mobile de la mire tenue verticalement en B (ne pas négliger de mettre la lunette au point). Amener le fil diamètre horizontal sur la ligne de foi du voyant mobile au moyen de la vis de rappel, comme il a été dit plus haut.

S'assurer alors de ce que la bulle du niveau est encore entre ses repères, les opérations du pointage dérangeant d'habitude le niveau ; caler de nouveau si c'est nécessaire, rectifier ensuite le pointage au moyen de la vis de rappel.

Lire *avant tout* la distance zénithale au zéro du vernier de l'éclimètre, puis l'azimut AB à la pointe bleue de l'aiguille ; noter les deux angles dans le carnet d'inscriptions.

REMARQUE. — Deux élèves au moins par atelier doivent toujours lire les indications des instruments et inscrire leurs observations *en silence :* les inscriptions étant faites par chacun d'eux, ils comparent leurs notes, et

li sent de nouveau si leurs appréciations sont en discordance. Ce contrôle est toujours très utile, mais il est tout à fait indispensable pendant les premiers jours de travail. Celui qui contrôle les lectures contrôle aussi, en les suivant pas à pas, toutes les opérations; il porte particulièrement son attention sur le niveau, qui se dérange souvent et dont le calage est de rigueur pour le nivellement.

Soit $l = 99{,}48$ la distance zénithale *lue* en A.
$a = 375$ l'azimut *lu* à la pointe bleue.

(Vérifier si la division du limbe de la boussole, indiquée par la pointe blanche de l'aiguille, est 375 — 200.)

REMARQUE. — On peut lire la distance zénithale en se servant d'une loupe, mais la vue des élèves est généralement bonne, et il est préférable qu'ils s'habituent à lire sans loupe : c'est plus rapide et plus commode. Pour faciliter la lecture, on fait réfléchir, par la surface en platine du limbe, une page du carnet de notes : les divisions du limbe et du vernier apparaissent alors en traits noirs forts nets sur un fond blanc.

Avant d'abandonner avec la boussole la station A, on prend la hauteur de mire en pointant la lunette sur le voyant supérieur et en faisant hisser le voyant mobile à hauteur voulue (comme il a été dit plus haut et pratiqué dans la recherche du coefficient). AB ayant été mesuré à la chaîne, on s'assure de ce que le coefficient déjà trouvé pour la lunette est bien déterminé.

On transporte ensuite la lunette en B où on l'installe *en station*. On hisse le voyant mobile à hauteur du centre de l'objectif de la lunette dirigée vers A. Le porte-mire va au point A..., etc.; on opère sur BA comme on a opéré sur AB.

Soit $l' = 100{,}62$ la distance zénithale *lue* en B.
$a' = 175$ l'azimut *lu*.

$$l = z \pm \varepsilon \quad (+\ \varepsilon \text{ dans le cas présent})$$
$$l' = z' \pm \varepsilon$$
$$\overline{l + l' = z + z' \pm 2\varepsilon = 200 \pm \varepsilon.}$$

D'où
$$\pm \varepsilon = \frac{l + l' - 200}{2}$$

Si nous prenons les chiffres de l'hypothèse

$$\varepsilon = \frac{99{,}48 + 100{,}62 - 200}{2} = 0{,}05.$$

L'erreur de collimation est de 5 minutes : tous les angles lus devront être diminués de 0,05.

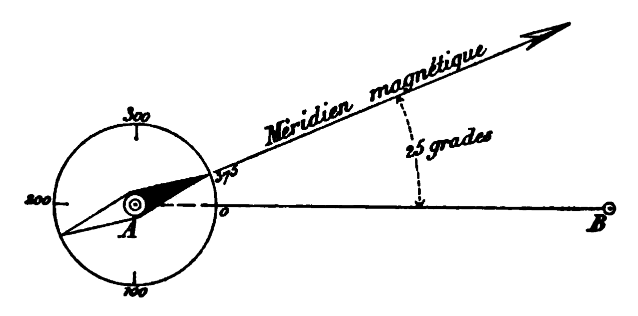
On inscrit la correction de collimation dans la colonne *Observations* du carnet. On introduit cette correction dans les calculs pour déterminer les différences de niveau; ***mais, sur le terrain, on inscrit les distances zénithales telles qu'on les lit***. (On note les distances lues [1].)

La différence des azimuts AB et BA étant

$$375 - 175 = 200,$$

on est certain que l'azimut AB est bien 375 grades.

On trace, sur la planchette minute que l'on a transportée sur le terrain, le méridien passant par le point A. On construit donc, à gauche de AB, un angle de 25 grades; on oriente la planchette et l'on vérifie si le méridien tracé sur celle-ci est



bien dans la direction indiquée par l'aiguille aimantée. (Il faut, chaque fois qu'on en a le moyen, contrôler les constructions faites sur le papier.)

Le soir, à l'École, chaque élève construira sur sa planchette minute un treillis de méridiens et de parallèles équidistants de 0m05, qu'il prolongera au delà du cadre jusqu'aux bords de la planchette. Ce treillis, établi avec un soin minutieux au crayon, sera ensuite passé au carmin. (Voir annexe A.)

[1] Pour la recherche de l'erreur de collimation, il faut, entre les points de station A et B, 50 mètres au moins et 200 mètres si possible : la mise à hauteur du voyant mobile de la mire n'étant jamais rigoureusement exacte.



(Si le treillis n'est pas construit avec soin, ce sera une source de déboires pendant le levé.)

Sur un des méridiens, en dehors du cadre, on indiquera le nord par une pointe de flèche au crayon.

Remarque importante. — Si la différence des azimuts est > ou < 200 grades, c'est qu'il existe une cause de déviation à l'une des deux stations : il importe de la rechercher séance tenante, car il est nécessaire de préparer la planchette le soir du 1er jour, et, pour tracer le treillis, il faut connaître l'azimut exact.

On examine si, dans le voisinage de A ou de B, il n'y a aucune trace de fer. Supposons qu'en A on découvre du fer qu'on n'avait pas aperçu d'abord : on se place en station sur l'alignement AB en un point A', on lève l'azimut

A *A'* *B*

A'B, et, si cet azimut A'B diffère exactement de 200 grades de l'azimut BA, (est le réciproque de BA), c'est qu'il y avait perturbation en A.

On adopte l'azimut A'B à l'aide duquel on construit le méridien passant par A sur la planchette minute.

Le restant de la journée, sur le terrain, est consacré à la reconnaissance du terrain et au tracé du canevas sur le croquis au 5.000e.

Si l'échelle de transversales au 2.000e n'a pas été construite sur la planchette avant l'ouverture des travaux en plein air, on l'établira le soir du 1er jour.

III. — RECONNAISSANCE.

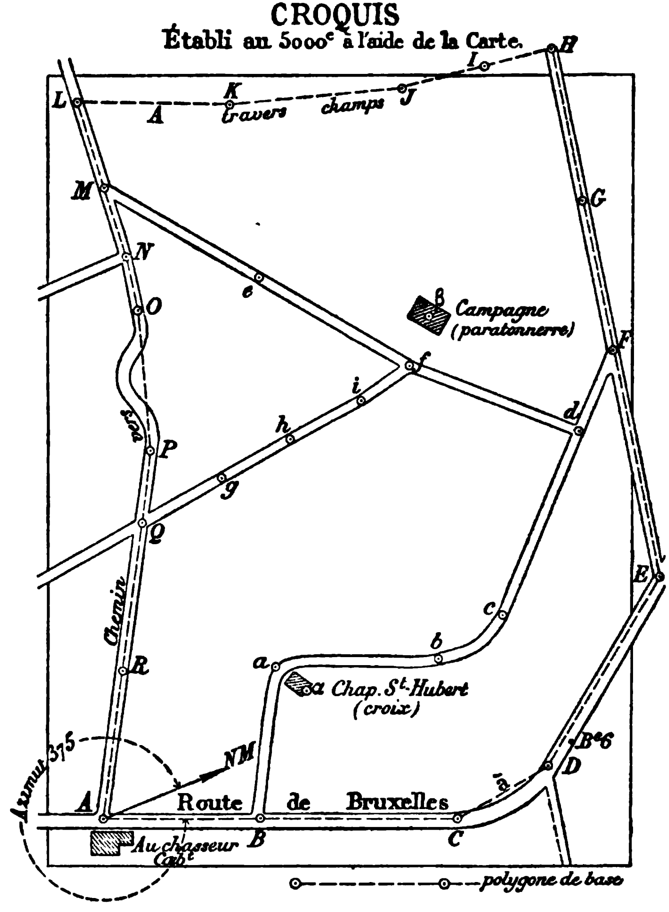
Il est indispensable, pour que les opérations d'un levé se fassent méthodiquement, facilement et rapidement, que le topographe étudie à fond son terrain. Les ateliers commenceront donc, dès l'après-midi du premier jour, en s'aidant de la carte au 40.000e et du croquis au 5.000e, une reconnaissance très détaillée qu'ils achèveront le lendemain.

Pendant cette reconnaissance, ils détermineront la direction qu'il convient de donner aux lignes du canevas des opérations et traceront ce canevas sur le croquis au 5.000e.

Le *canevas* se compose :

1° D'un polygone enveloppant le terrain à lever *(polygone de base)*, dont les côtés seront tracés le long des routes, des che-

mins et des sentiers. Si, pour suivre les chemins, il fallait, dans certaines parties du terrain, trop s'écarter des limites du levé,



Programme particulier.

Le terrain à lever à l'échelle du 2000e est situé à l'ouest de la route de Bruxelles à ... et compris dans un rectangle de ... de base sur ... de hauteur.

Le côté de départ AB *est sur la route. Le point* A *à l'origine du chemin vers ..., entre les bornes 5 et 6 (*Au Chasseur, cabt*).*

Sur la planchette, le point A *sera dans l'angle inférieur de gauche, à ... centimètres de chacun des deux bords.* AB *parallèle au bord inférieur.*

quelques côtés seraient dirigés à travers champs, en les choisissant de telle façon qu'ils soient des lignes utiles pour le nivellement ;

2° De *traverses* qui, partant d'un sommet du polygone de base et aboutissant en un autre sommet de celui-ci, subdivisent le grand polygone en plusieurs autres.

Les traverses suivront ou contourneront les détails importants : chemins, sentiers, cours d'eau, étangs, marais, bois, îlots de maisons, grandes propriétés, arrachements de terrain. Si des côtés de traverses sont dirigés à travers champs, ils suivront les lignes de faite, les thalwegs ou les pentes caractéristiques.

Les lignes du canevas décomposeront ainsi le terrain en petites surfaces aux côtés desquelles il sera facile de rapporter, dans la suite, tous les détails.

Les *sommets* du canevas seront des points utiles pour les opérations de la planimétrie et, autant que possible, pour celles du nivellement. On les choisira sur l'axe ou sur l'un des accotements des routes ou des chemins (de préférence sur un accotement pour ne pas être dérangé par le passage des voitures) ; aux changements de direction, aux croisements ou carrefours, aux embranchements ou bifurcations des voies de communication ; aux angles des figures géométriques formées par les limites des détails importants ; dans les thalwegs ou sur les lignes de faîte et aux changements de pente.

Tous les sommets seront, autant que possible, des points du terrain naturel ; on évitera de les prendre sur des remblais, dans des déblais ou dans le creux des chemins ravinés.

On évitera également de choisir les sommets dans le voisinage immédiat d'ouvrages en fer, particulièrement de tiges verticales, qui occasionnent parfois des déviations considérables de l'aiguille de la boussole : grilles, réverbères, poteaux indicateurs, clôtures métalliques, rails, etc.

De chaque sommet, il faut nécessairement que l'on puisse apercevoir la mire lorsqu'elle est tenue sur les deux sommets voisins et il est désirable que l'on découvre au moins un des repères qui serviront à la vérification de la construction du canevas.

Le choix des *points de repère* doit donc se faire en même temps que le choix des sommets du canevas : on les prendra dans les limites du terrain à lever ou fort peu en dehors ; il n'en faut pas trop, un, deux, trois au plus ; un seul repère, vers le centre du levé et vu de tous les sommets, serait l'idéal. Ce seront des croix d'église ou de chapelle, des paratonnerres, des girouettes, des cheminées de fabrique ou de maison isolée, des arbres isolés, des poteaux télégraphiques, etc. A défaut de repère naturel convenable, on se donnera un excellent repère artificiel en plantant chaque matin, en un même point culminant du terrain, un jalon à l'extrémité duquel on aura cloué un morceau d'étoffe blanche, rouge, jaune, bleue ....

La longueur des côtés sera comprise entre 24 et 240 mètres. On recherchera, pour le polygone de base, des côtés très longs ; on ne prendra des côtés plus petits que 100 mètres que dans le cas où l'on ne pourrait faire autrement. Sur les routes en ligne droite, on placera les sommets suivant un même alignement.

IV. — OPÉRATIONS EN UN POINT DE STATION S.

Installer la boussole-éclimètre en station au point S. (Voir *Mise en station au point A*, page 289).

Diriger la lunette vers R ; amener le trait zéro du vernier en coïncidence avec le trait 100 du limbe de l'éclimètre ; tenir la mire verticalement en face de l'objectif de la lunette, placer la ligne de foi du voyant mobile à hauteur du centre de l'objectif ; serrer fortement la vis de pression du bracelet du voyant, pour que celui-ci ne se dérange pas pendant le transport de la mire ; envoyer le porte-mire au point R.

Pointer la lunette à la main sur le voyant mobile de la mire, amener le fil diamètre horizontal du réticule exactement sur la ligne de foi du voyant au moyen de la vis de rappel, examiner si l'image du voyant est au point.

S'assurer alors de ce que la bulle du niveau est encore entre ses repères, les opérations du pointage dérangeant d'habitude le niveau ; caler de nouveau si c'est nécessaire, rectifier ensuite le pointage au moyen de la vis de rappel ; lire *avant tout* la distance

zénithale et l'inscrire dans le carnet de notes [1]. (Deux élèves doivent lire et inscrire en silence, voir les remarques pages 294 et 295); lire et inscrire l'azimut SR; revenir à la lunette et lire la hauteur de mire à la mire parlante [2].

Vérifier 1° Si la somme des distances zénithales RS et SR est égale à 200 $\pm$ 2 ε ($\pm$ ε étant la correction de collimation déterminée avec soin le matin, voir p. 294); 2° Si la différence des azimuts RS et SR est 200. 3° Si la hauteur de mire lue de S est, à un demi-centimètre près, la même que la hauteur de mire lue de R sur S.

Si la correction de collimation varie de plus de 2 minutes, c'est que les observations sont mal faites ou que l'instrument s'est dérangé.

Si la différence des azimuts n'est pas 200, l'azimut RS ayant été bien observé, c'est qu'il y a perturbation en S. On construirait, en cas de perturbation, l'angle RST au moyen des azimuts lus [3].

Envoyer le porte-mire au point T, après avoir replacé le voyant mobile à hauteur de l'axe optique de la lunette, si l'on a dû déranger ce voyant pour lire à la mire parlante.

Pendant que l'aide se porte en T, pointer la lunette sur les repères α, β, ... que l'on aperçoit de S; lire et inscrire dans le carnet les azimuts Sα, Sβ, ... puis les construire sur la planchette [3]. Les lignes Sα, Sβ, ... doivent passer par les repères α, β, ... dont la position est déjà déterminée sur la planchette.

Si cette vérification ne donne pas pleine satisfaction, c'est qu'il y a erreur dans la construction du côté RS. Revoir, dans ce cas, la construction de ce côté au moyen des notes du carnet.

S étant bien établi sur la planchette, pointer la lunette sur le centre du voyant mobile de la mire tenue en T, *s'assurer de ce*

---

[1] La distance zénithale qu'on *inscrit* est la distance *lue* et non pas cette distance corrigée de l'erreur de collimation. Annexe D.

[2] Amener pour cela le fil diamètre horizontal sur la ligne de foi du voyant *supérieur* à l'aide de la vis de rappel, faire descendre le voyant mobile si c'est nécessaire, etc. La distance SR a été lue de la station R au moyen des deux voyants.

[3] Voir Annexe A.

que la bullle du niveau est entre ses repères, lire et inscrire la distance zénithale, lire et inscrire l'azimut ST; déterminer la hauteur de mire en pointant la lunette sur le centre du voyant supérieur au moyen de la vis de rappel et en faisant placer la ligne de foi du voyant mobile, par le porte-mire, sur le fil supérieur du réticule (voir p. 291) : le porte-mire serrera alors fortement la vis de pression du voyant mobile, lira la hauteur de mire et apportera la mire au topographe, qui lira également.

Inscrire la hauteur de mire dans le carnet et calculer, au moyen d'une table [1] préparée à cette fin, la ***distance lue*** (QH + 0,30); inscrire la distance lue dans le carnet; réduire cette distance à l'horizon s'il y a lieu (voir Annexe C) et noter, dans ce cas, la ***distance réduite*** dans le carnet.

Construire ST sur la planchette, vérifier sommairement cette construction en orientant la planchette; enfoncer un petit piquet au sommet S et planter un jalon à côté du petit piquet; repérer le point S à des objets fixes, qui puissent le faire retrouver, et faire dans la colonne ***Observations*** du carnet les annotations nécessaires à cet effet; transporter les instruments au point T.

Employer la méthode qui vient d'être indiquée (visée parallèle au sol) chaque fois qu'on le pourra pour l'établissement du canevas : cette méthode permettant de constater les erreurs que l'on commettrait dans l'observation des angles zénithaux. Lorsque des mouvements de terrain ou des couverts cacheront le voyant mobile placé à hauteur de la lunette, pointer le voyant supérieur, mais, dans ce cas, prendre la différence (J-I) et l'inscrire dans le carnet, avant d'envoyer le porte-mire au point sur lequel on va faire des observations [2].

Le canevas étant établi, pour avoir de l'uniformité dans les opérations, on ne visera plus que le voyant supérieur. On prendra toujours (J-I) et, de plus, on lira toujours les hauteurs

---

[1] Voir annexe C.

[2] J = hauteur de la mire, I = hauteur de l'axe optique de la lunette au-dessus du point de station. Pour prendre (J-I), placer le voyant mobile à hauteur de l'axe optique de la lunette disposée horizontalement, lire à l'index du voyant mobile.



de mire à la mire parlante. On ne se servira donc plus du voyant mobile que pour déterminer (J-I) et ce voyant sera tenu au bas de la mire pendant les observations.

V. — TRAVAIL LE SOIR A L'ÉCOLE MILITAIRE.

Tous les soirs, à l'École, les élèves passeront proprement à l'encre noire toutes les inscriptions, faites au crayon sur le terrain, dans leurs carnets d'annotations (registre ou carnet de nivellement).

Dans le carnet, en tête des annotations relatives aux diverses phases du travail, on écrira en italique : polygone de base, 1re traverse de ... sur ..., etc. (Annexe D).

Chaque soir, les élèves feront les calculs nécessaires pour déterminer les cotes de tous les points observés pendant la journée.

La surface de comparaison du nivellement sera la surface de niveau passant à 100 mètres au-dessous du point de départ A des opérations : la cote de A sera donc 100,000.

Les calculs seront faits méthodiquement dans un cahier spécial. (Annexe E).

Les cotes seront calculées jusqu'aux millimètres pour le canevas et jusqu'aux centimètres pour l'expression du relief; elles seront inscrites immédiatement dans les carnets. Si des erreurs étaient commises, on les rectifierait à l'encre rouge.

Pour le calcul des cotes, les élèves se groupent par atelier à la salle d'études; le chef d'atelier lit d'abord très lentement toutes les annotations recueillies sur le terrain pendant la journée, ses camarades suivent attentivement, passent à l'encre toutes les écritures, complètent et rectifient éventuellement; puis, tous les élèves calculent en silence la cote du premier point observé, le chef d'atelier lit son résultat, que chacun inscrit dans son carnet de nivellement s'il ne donne lieu à aucune observation; on passe alors à la détermination de la cote du second point, et ainsi de suite. Si les élèves n'étaient pas d'accord pour une cote, le chef d'atelier donnerait lecture des opérations qu'il a effectuées dans son cahier de calculs et l'on arriverait fatalement à l'endroit où ses opérations sont en discordance avec celles du camarade qui signale une erreur.

Les calculs par les abaques seront faits par deux élèves dans chaque atelier : ils opéreront isolément et collationneront ensuite (voir Annexe E).

Les carnets d'annotations et les cahiers de calculs doivent être tenus soigneusement; ils seront remis, en même temps que les planchettes-minutes, après l'achèvement de celles-ci, à Monsieur l'Inspecteur des études (voir chapitre X).

Tous les élèves transporteront leurs planchettes-minutes chaque soir à l'École; ils feront, journellement sur ces planchettes, toutes les inscriptions dont il est fait mention dans les chapitres VI, VII, VIII et IX.

VI. — POLYGONE DE BASE.

Voir le chapitre III, page 297.

Les sommets seront désignés par des capitales penchées de 4 millimètres A, B, C, ...; on cherchera à n'avoir qu'une vingtaine de sommets au plus.

Le levé du polygone de base se fera par cheminement périmétrique. Les distances seront mesurées à la lunette-stadia et contrôlées à la chaîne, chaque fois que le terrain le permettra (voir chapitre IV).

Le polygone peut exceptionnellement sortir du cadre du levé.

Les opérations de la planimétrie sont réputées exactes lorsque le polygone ferme en longueur et en direction. Si la vérification par les repères a toujours donné des résultats satisfaisants, la fermeture se présentera dans de bonnes conditions.

En hauteur, c'est-à-dire en nivellement, la fermeture n'est jamais rigoureusement exacte : si l'erreur est admissible, on répartira la différence entre la cote de départ de A et la cote de fermeture de A sur tous les sommets du polygone à partir du second. (Voir colonne *Cotes corrigées*, Annexe D). Dans l'exemple de cette annexe, le polygone de base a 18 sommets et l'erreur de fermeture est — $0^m,09$:

Pour répartir cette erreur, on a ajouté aux cotes de B, de C, de D, ... respectivement 0,005; 0,005 × 2; 0,005 × 3; ....

Chaque élève inscrira dans son carnet ses erreurs de fermeture

en longueur et en direction et l'erreur de fermeture en hauteur de l'atelier (Annexe D).

Dans la colonne *Observations* du carnet, on notera si la pente du terrain, entre deux sommets voisins, est uniforme ou si elle est variée (*pu* ou *pv*).

Si la pente entre deux sommets est uniforme, le côté qui les unit sera tracé en trait plein sur la planchette-minute; si la pente est variée, ce côté sera tracé en traits interrompus.

Le polygone de base sera mis à l'encre de Chine, pas trop noire et très limpide, immédiatement après la fermeture. Les sommets seront entourés de circonférences de 2 millimètres de rayon; les côtés ne traverseront pas ces circonférences, dont les centres seront marqués en piquant fortement la pointe sèche du compas dans le papier.

Les écritures seront faites légèrement au crayon.

VII. — TRAVERSES.

Voir le chapitre III.

Les sommets des traverses du canevas seront désignés par des romaines penchées ***a, b, c,*** ... de 2 millimètres de hauteur.

Ces traverses seront levées par cheminement, de la même façon que le polygone de base (voir les chapitres IV et VI).

Pour les traverses de nivellement, qui pourront avoir pour point de départ et pour point de fermeture des sommets appartenant au polygone de base ou à une traverse du canevas, on se servira exclusivement du voyant supérieur de la mire, on lira à la mire parlante, on contrôlera les distances au pas et l'on se passera de visées réciproques. On déterminera la correction de collimation deux fois par jour seulement, une fois dans la matinée et une fois dans l'après-midi, lorsqu'un côté convenable pour cette opération se présentera; la correction de collimation sera inscrite dans la colonne *Observations* à hauteur de la première opération du matin ou de l'après-midi. On ne plantera des piquets aux sommets des traverses de nivellement, que si ces sommets doivent servir dans la suite de point de départ pour des bouts de cheminements; mais on profitera de la mise en

station de l'instrument, pour donner des coups de niveaux rayonnants utiles pour le tracé des courbes de niveau. Les points de nivellement ainsi obtenus seront numérotés 1, 2, 3 ... (Voir le chapitre IX) Avant d'abandonner une station, on construira tous les points déterminés de cette station.

Dans le carnet, en tête des inscriptions relatives à chaque traverse, on indiquera son numéro d'ordre, son point de départ et son point de fermeture (Annexe D).

Calcul des cotes. — On donnera, au point de départ de chaque traverse, la cote corrigée fournie par le nivellement du polygone de base ou d'une traverse précédente.

Fermeture. — Chaque traverse doit fermer en longueur, en direction et en hauteur. L'erreur de fermeture en nivellement sera la différence entre la cote corrigée du point auquel elle aboutit, fournie par le nivellement du polygone de base ou d'une traverse précédente, et la cote obtenue pour le même point par les opérations que l'on vient d'effectuer : si cette erreur n'est pas trop forte, on en fera la répartition d'une façon analogue à celle qui a été indiquée pour le polygone de base (voir Annexe D).

Les traverses du canevas seront mises à l'encre de Chine immédiatement après leur fermeture : les côtés dirigés suivant des pentes uniformes en traits pleins, plus fins que ceux du polygone de base, les autres côtés en traits interrompus ; autour des points de sommets, on tracera des circonférences de 3 millimètres de diamètre.

Les traverses de nivellement, les bouts de cheminements et les coups de niveau rayonnants ne seront mis à ***l'encre bleue***, que lorsque les opérations à l'éclimètre seront terminées : traits pleins pour les pentes uniformes, traits interrompus pour les pentes variées; autour des sommets et des points des circonférences de 2 millimètres de diamètre.

VIII. — LEVÉ DES DÉTAILS.

On rattachera tous les détails aux lignes du ***canevas*** : chaque cas particulier constituera un petit levé que l'on exécutera à la boussole-stadia, à la planchette, à l'équerre d'arpenteur, au

moyen de jalons, à la chaîne ou simplement au pas, suivant l'importance des objets ou le plus ou moins de facilité que présentera un instrument sur l'autre.

Si les détails sont grands, la boussole-stadia sera généralement l'instrument le plus expéditif.

On ne lève que les contours extérieurs des détails, que l'on dessine immédiatement sur la planchette-minute. Les lignes de construction sont tracées très légèrement; elles ne sont pas conservées lors de l'achèvement de la minute.

Lorsque, par suite du mauvais temps, on ne pourra découvrir la planchette, on fera des croquis sur feuilles volantes. Ces croquis ne seront pas établis à l'échelle, on les reportera sur la minute dès qu'on pourra s'abriter et, au plus tard, le soir à l'École militaire.

Si des objets n'ont pas des dimensions suffisantes pour être représentés convenablement par leur projection à l'échelle du dessin, ils le seront au moyen des signes conventionnels adoptés pour la carte au 10.000e des environs de Bruxelles.

Le soir à l'École, ou lors de l'achèvement de la minute (chapitre X), on couvrira l'intérieur des contours des bâtiments de hachures à 45°; les prairies, les bois, les jardins, les eaux, les marais, etc., des signes conventionnels du 10.000e; on empruntera les mêmes signes pour représenter les haies, les murs, etc.

Pour les talus, on donne la projection horizontale de leurs arêtes, et l'on couvre l'intervalle qui les sépare de hachures normales à leur longueur et dont l'épaisseur la plus forte est du côté de l'arête la plus élevée.

Pour lever les contours des églises, maisons, jardins, cimetières, bois, prairies, étangs, etc., à l'équerre d'arpenteur, on abaissera, des angles de ces contours, des perpendiculaires sur les lignes les plus voisines du canevas, on mesurera la longueur des perpendiculaires et la distance de leur pied au sommet le plus rapproché au moyen de la chaîne.

Si les perpendiculaires sont courtes, on les dessine à vue sur la minute, sinon on se sert du compas ou d'une équerre en bois.

Dans le levé des détails, on pourra souvent recourir à la méthode des alignements et des prolongements.

On lèvera quelques détails à la planchette pour s'exercer au maniement de cet instrument; on choisira de préférence les cas où il sera nécessaire de déterminer des points par intersections.

Lorsqu'il s'agit de représenter une rue, afin d'éviter l'accumulation des erreurs, on lève d'abord les contours d'un bloc de maisons avec leurs dépendances, puis on subdivise ce bloc en mesurant à la chaîne ou au pas les dimensions des principaux bâtiments qui le composent.

Les routes sont représentées par leur chaussée, leurs accotements, et les arbres qui les bordent; les chemins et les voies ferrées par leur projection horizontale (traits conformes aux signes conventionnels du 10.000e); les sentiers par une ligne en traits interrompus.

Écritures. — Au fur et à mesure de la représentation des objets, on aura soin d'inscrire les noms des chemins, cours d'eau, chapelles, fabriques, châteaux, auberges, etc.

Sur le terrain, ces désignations sont inscrites légèrement en écriture ordinaire.

Le soir, ou lors de l'achèvement de la minute, voir chapitre X, on les inscrira en caractères adoptés pour la carte au 10,000e des environs de Bruxelles.

Toutes les écritures qui ne se rapportent pas aux voies de communication ou à des cours d'eau sont parallèles au bord inférieur du cadre; elles sont tracées en dehors et près des objets qu'elles désignent, ou à l'intérieur de ceux-ci, lorsque leurs dimensions le permettent. (Les noms des bâtiments sont cependant toujours inscrits en dehors.)

La désignation des chemins s'écrit en dehors de leur largeur, parallèlement à leurs sinuosités et dans le sens qui permet de les lire le plus commodément.

On ne sépare jamais les lettres d'un mot : lorsqu'un titre doit s'étendre sur un long espace, on agrandit les intervalles qui séparent les mots qui le composent.

Quand les chemins sont désignés par les localités qu'ils joignent, le nom de la localité dans la désignation doit se trouver du côté où elle se trouve sur le dessin.

Lorsqu'un cours d'eau est assez large, on inscrit sa désignation entre ses rives. Le sens du courant est indiqué par quelques petites flèches.

IX. — EXPRESSION DU RELIEF.

Le relief sera exprimé au moyen de courbes hypsométriques à l'équidistance d'*un* mètre.

Pour le levé des courbes de niveau, on emploiera la méthode dite ***irrégulière***.

Le canevas de la planimétrie est établi avec soin, ses sommets et ses côtés seront utilisés pour exprimer le relief et serviront de base aux opérations proprement dites du nivellement (chapitres III, VI et VII).

Partant d'un sommet du canevas, pour aboutir en un autre sommet du canevas, on lèvera, par cheminement, ***des traverses de nivellement*** qui suivront les thalwegs et les lignes de faîte (chapitre VII).

Les sommets des traverses de nivellement seront des points caractéristiques du relief : changements de pente, changements de direction, points de réunion, points d'intersection des thalwegs et des lignes de faîte.

Des sommets des traverses sur lesquels on stationnera, on jettera des coups de niveau à droite et à gauche du cheminement (généralement un de chaque côté). La mire sera tenue aux changements de pente principaux : crête militaire, pied ou sommet des talus et des escarpements, dos ou fond des plis de terrain, etc. Les coups de niveau seront donnés, autant que possible, dans la direction des lignes de plus grande pente et suivant des pentes uniformes. On ne négligera pas de noter dans le carnet, en regard des inscriptions relatives à chaque coup de niveau, si la pente est uniforme ou si elle est variée (*pu* ou *pv*).

Tous les points du nivellement, y compris les sommets des traverses, seront désignés par une série unique de numéros d'ordre 1, 2, 3, ... Voir annexe *D*.

On lèvera les plis de terrain importants en construisant des ***bouts de cheminements :*** on partira d'un sommet du canevas ou d'un sommet de traverse de nivellement. Le bout de chemine-

ment n'étant pas fermé, on visera parallèlement au sol et l'on prendra, pour les sommets de station, les azimuts et les distances zénithales réciproques.

On pourra lever les bouts de cheminements au fur et à mesure qu'ils se présenteront ou bien après l'établissement des traverses. Dans ce dernier cas, il sera nécessaire de planter des piquets de repère aux sommets que l'on désire retrouver plus tard.

Avant d'abandonner une station, les élèves collationneront leurs annotations et chacun d'eux construira, sur sa planchette-minute, toutes les opérations effectuées à cette station. Les coups de niveau suivant des pentes uniformes seront tracés en traits pleins, les autres en traits interrompus.

Le soir, on déterminera la cote de tous les points levés pendant la journée. Les cotes seront inscrites à l'encre dans le carnet et au crayon sur la planchette-minute, parallèlement au bord inférieur du cadre et très près des points auxquels elles se rapportent. On ne conservera que deux décimales.

Chaque soir également, on déterminera les points de cote ronde (points de passage des courbes de niveau), sur les lignes du nivellement. Voir annexe *E*.

Esquisse des sections. — Tous les points de passage des courbes étant établis, sur les lignes du canevas et du nivellement, on réunira légèrement ceux qui ont même cote par un trait continu au crayon.

Dernier travail sur le terrain. — On se rendra sur le terrain avec la minute, on étudiera attentivement les mouvements du sol et l'on tracera, on dessinera artistement, les courbes de niveau définitives. On renforcera légèrement le trait des courbes dont la cote est un multiple de 5.

Le tracé des courbes sera interrompu au passage des voies de communication.

On emportera avec soi l'éclimètre et la mire, de façon à pouvoir vérifier les cotes sur l'exactitude desquelles on aurait des doutes ou à lever des points supplémentaires, si le besoin s'en faisait sentir.

Les lignes du nivellement ne seront passées à l'encre bleue que lors de l'achèvement de la minute.

X. — ACHÈVEMENT DE LA CARTE-MINUTE.

Les opérations sur le terrain étant terminées, on nettoyera la planchette-minute, on rétablira nettement les parallèles et les méridiens.

On tracera ensuite à l'encre bleue le canevas du nivellement. (chapitre VII).

On inscrira à l'encre rouge la cote de tous les points du levé : chiffres de 1 millimètre de hauteur, près du point auquel ils se rapportent et parallèles au bord inférieur du cadre.

Toutes les autres parties de la minute resteront au crayon.

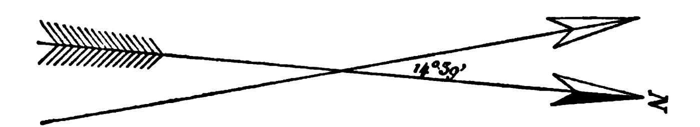
On retouchera le tracé des courbes en accentuant le trait des courbes de cinq en cinq mètres et en inscrivant, de distance en distance et parallèlement à celles-ci, le chiffre de leur cote. Le chiffre sera disposé de telle façon qu'on puisse facilement le lire sans tourner la feuille.

On achèvera le figuré des détails. On donnera aux contours des bâtiments des traits de force du côté de l'ombre. On couvrira l'intérieur des bâtiments de hachures parallèles à la bissectrice de l'angle supérieur de droite. On couvrira les bois, les prairies, les jardins, etc., des signes conventionnels du 10,000^e.

Le cadre sera interrompu dans les parties où le canevas le traverse.

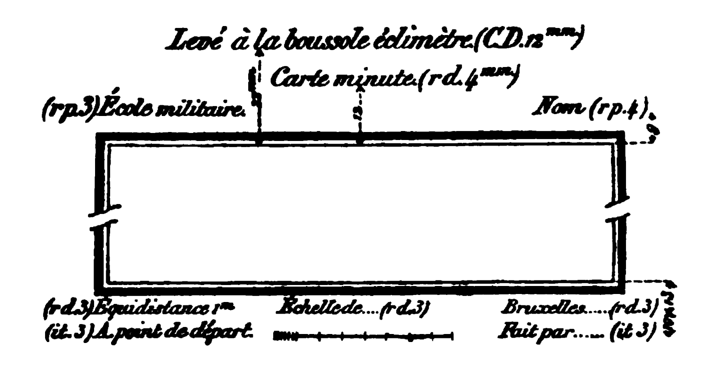
Pour les écritures à l'intérieur du cadre, voir le chapitre VIII.

Flèches d'orientation. — On dessinera, dans une partie de la carte dépourvue de détails, deux flèches exactement du modèle ci-après.



Dans l'angle des deux flèches, on inscrira la déclinaison magnétique donnée par le *Bulletin de l'Observatoire* pour le premier jour du levé.

Écritures en dehors du cadre. — On se conformera strictement aux indications suivantes :



XI. — MISE AU NET.

1° Copier la minute en se servant du treillis de méridiens et de parallèles tracé sur la minute.

Ne pas reproduire les lignes du canevas.

Ne faire d'abord ni hachures, ni écritures.

Tracer une échelle linéaire de 300 à 400 mètres sous le bord inférieur du cadre.

2° Passer toute la carte à l'encre en traits fins : les contours des maçonneries et les pavés en rouge, les eaux en bleu, les haies et arbres en vert, le reste en noir.

Amorcer les hachures des encaissements, berges, talus, etc.

Consulter le tableau des signes conventionnels adoptés pour la carte au 20,000e et le cours de dessin pour le figuré des chemins, vergers, prairies, bois, jardins, etc.

Nettoyer la carte à la mie de pain et laver à grande eau.

3° Exécuter le lavis de la carte en se conformant aux principes enseignés au cours de dessin et au tableau des teintes conventionnelles du 20.000e.

Faire les hachures, refaire les lignes rouges et les lignes bleues, donner les traits de force, compléter les signes conventionnels, etc.

4° Faire les écritures à l'intérieur du cadre : elles seront dessinées avec le plus grand soin et rigoureusement conformes au tableau des hauteurs et des caractères des écritures (voir chapitre X).

Tracer le cadre à l'encre.

Dessiner les flèches d'orientation. Dessiner les écritures en dehors du cadre, voir le chapitre X; supprimer les mots *carte-minute* et A, *point de départ.*

ANNEXE *A*.

Construction des azimuts.

On construit les azimuts au moyen du rapporteur.

En un point donné, construire un azimut α.

1° Si $\alpha <$ 2 droits, 60^g par exemple. Soit le point A donné. Placer, sur une méridienne, le rayon du rapporteur qui passe par la division 60, cette division étant du côté du nord et le bord *ab* contre le point A. Tracer le long de ce bord une droite de A vers le zéro du rapporteur.

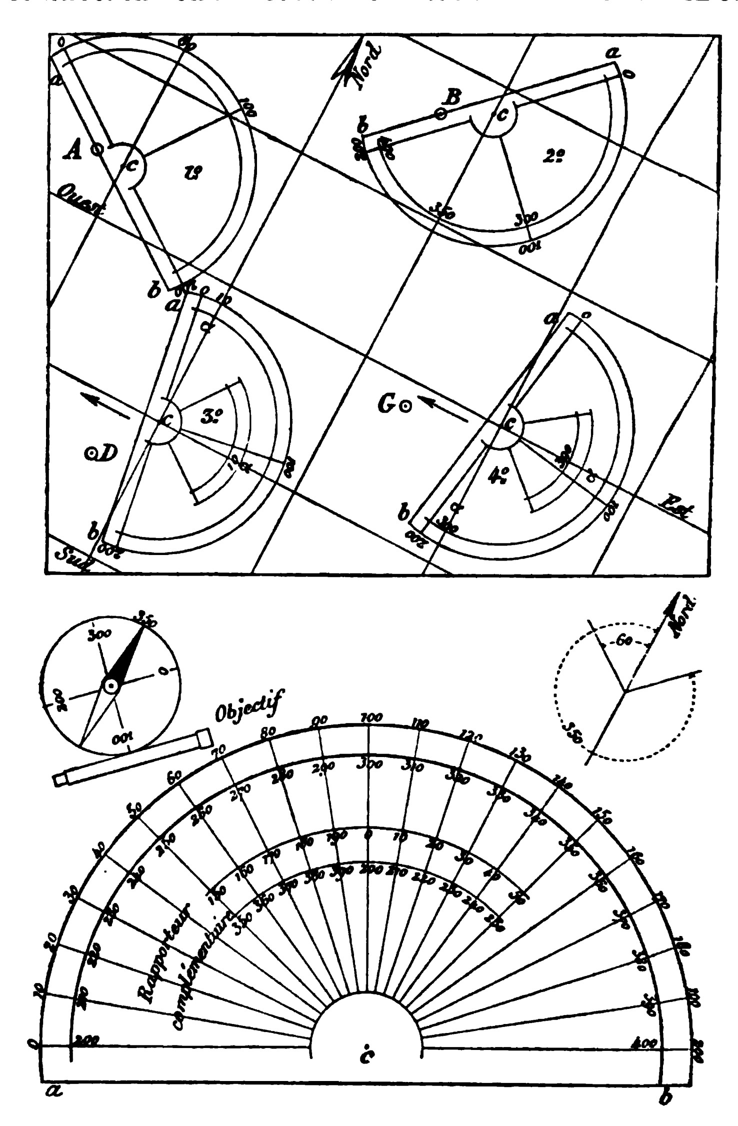
2° Si $\alpha >$ 2 droits, 350^g par exemple. Soit B le point donné. Placer, sur une méridienne, le rayon du rapporteur qui passe par la division 350^g, cette division étant du côté du sud et le bord *ab* contre le point B. Tracer le long de ce bord une droite de B vers le zéro du rapporteur.

3° Il peut arriver, qu'après avoir placé le rayon α comme il vient d'être dit, il soit impossible de faire passer le bord *ab* par le point D où l'azimut doit être tracé. Dans ce cas, on place le rapporteur près du point D, son centre sur un des *sommets* du treillis, la division α sur la méridienne et tournée vers le nord ou vers le sud, suivant que α est $<$ ou $>$ 2^d. La division α du rapporteur *complémentaire* se trouve alors sur la ligne est-ouest.

Faire glisser ensuite le rapporteur, en maintenant le rayon α de la graduation complémentaire sur la ligne est-oust, jusqu'à ce que *ab* passe par le point D.

Tracer une droite, le long de *ab,* de D vers le zéro du rapporteur.

Les 3e et 4e montrent la disposition du rapporteur pour la construction d'un azimut de 10g en D et d'un azimut de 390g en G.



Remarque. — Dans l'application des règles données ci-dessus, on aura soin de ne pas lire le rapporteur par transparence.

ANNEXE *B*.

Éclimètre et vernier.

Les éclimètres actuellement en usage à l'École militaire donnent les *distances zénithales* en grades.

Les graduations du vernier sont numérotées dans le même sens que celle du limbe; la plus petite division du limbe et un quart de grade ou $0^g,25$ (25 minutes centésimales); les 25 divisions du vernier correspondent à 24 divisions du limbe : le vernier est donc additif et donne la minute centésimale.

L'approximation donnée par un vernier est, en effet, $\frac{p}{n}$.

p étant la plus petite division du limbe;

n le nombre de divisions du vernier;

$$\frac{p}{n} = \frac{0.25}{25} = 0.01$$

Lecture de l'éclimètre. — 1° Le trait zéro du vernier est entre les divisions 102.25 et 102.50, la 12e division du vernier se trouve exactement dans le prolongement d'un trait de division du limbe.

La distance zénithale est $z = 102.25 + 0.12 = 102.37$.

2° Le zéro du vernier arrive entre les divisions 97.50 et 97.75 du limbe, la 13e division du vernier coïncide avec un trait du limbe :

La distance zénithale $z' = 97.50 + 0.13 = 97.63$.

Mise en station en un point A, page 289.

Réglage du niveau, page 290.

Recherche de la correction de collimation, page 294.

Opérations en un point de station S, page 300.

ANNEXE *C*.

Lunette-stadia.

Détermination du coefficient Q de la lunette, page 291.

Opérations en un point de station S, page 300.

La *distance lue* est le résultat *d* que l'on obtient en multipliant par Q la hauteur de mire interceptée entre les fils L et S du réticule et en ajoutant $(\varphi + \omega)$ à ce produit.

$$d = H \times Q + (\varphi + \omega)$$

φ est la distance focale principale de la lentille objectif, ω la distance du centre de l'instrument à l'objectif de la lunette.

Pour faciliter le calcul de la distance lue, on établira, le soir du second jour, une table du modèle ci-après, que l'on copiera sur la couverture intérieure du carnet d'annotations.

1	196.3	Boussole-éclimètre n° 37.
2	392.6	Q = 196,3
3	588.9	$(\varphi + \omega) = 0.30$
4	785.2	$d = H \times Q + (\varphi + \omega)$.
5	981.5	Exemple : on a lu, pour FG, H = 0,835.
6	1177.8	Pour 0.8 on a 157.04
7	1374.1	0.03 . . . . 5.889
8	1570.4	0.005 . . . . 0.9815
9	1766.7	$\varphi + \omega$ 0.30
		La distance lue FG = 164.2105

On inscrira 164.21 dans la colonne *Distances lues* du carnet (voir Annexe D).

Pour l'expression du relief, les coups de niveau seront nombreux et on lira la hauteur de mire à la mire parlante, à un demi-centimètre près; il sera avantageux de construire une table complète, on évitera des calculs sur le terrain et les opérations marcheront plus rapidement : dans la 1re colonne on inscrirait H, les hauteurs de mire; dans la 2de colonne $d = H \times 196.3 + 0.30$.

H	*d*	H	*d*	H	*d*	H	*d*
0.10	19.93	0.40	78.82	0.70	13.771	1.00	196.60
0.11	21.89	0.41	80.78	0.71	13.967	1.01	198.56
0.12	23.85	0.42	82.75	0.72	14.164	⋮	⋮
0.13	25.82					1.30	255.49

La *distance réduite* est D, projection sur un plan horizontal de la distance *d* lue à la lunette-stadia.

Si l'on désigne par α l'angle que fait l'axe optique avec un plan horizontal.

$D = d\cos^2 \alpha$ (voir le *Cours de Topographie*, 2e Partie, p. 62).

Pour faciliter la réduction à l'horizon des distances lues à la stadia, on se sert de la table ci-dessous.

Usage. — Soient $z = 92.20$ et $d = 164.21$.

On aura $\alpha = 100.00 - 92.20 = 7.80$. On prendra $\alpha = 8$ grades.

100	mètres,	sous 8 grades,	se réduisent	à	98.43
60	»	»	»		59.06
4	»		»		3.937
0.2	»	»	»		0.19686
0.01	»	»	»		0.01
164.21	»	»	»		161.634

On inscrira 161.63 dans la colonne *Distances réduites* du carnet (voir FG, annexe D).

INCLINAISON EN GRADES.	RÉDUCTION A L'HORIZON DE :								
	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m
1	9.998	19.995	29.99	39.99	49.99	59.99	69.98	79.98	89.98
2	9.990	19.980	29.97	39.96	49.95	59.94	69.94	79.92	89.91
3	9.978	19.956	29.93	39.91	49.88	59.86	69.84	79.82	89.80
4	9.961	19.921	29.88	39.84	49.80	59.76	69.72	79.68	89.64
5	9.938	19.877	29.81	39.75	49.69	59.63	69.57	79.50	89.44
6	9.911	19.823	29.73	39.64	49.56	59.46	69.37	79.27	89.20
7	9.880	19.759	29.64	39.52	49.40	59.28	69.16	79.04	88.91
8	9.843	19.686	29,53	39.37	49.21	59.06	68.90	78.74	88.58
9	9.801	19.603	29.40	39.21	49.01	58.80	68.61	78.41	88.21
10	9.755	19.511	29.27	39.02	48.78	58.54	68.29	78.05	87.79
11	9.704	19.409	29.11	38.82	48.52	58.22	67.93	77.64	87.34
12	9.649	19.298	28.95	38.60	48.24	57.90	67.55	77.20	86.84

ANNE

Registre. Carnet

Polygone

DÉSIGNATIONS		ANGLES.		DISTANCES.		HAUTEURS.		DIFFÉRENCES DE NIVEAU	
DES POINTS DE STATION.	DES POINTS OBSERVÉS.	HORIZONTAUX. (AZIMUTS.)	VERTICAUX. (ZÉNITHAUX.)	LUES (1)	RÉDUITES.	DE MIRE.	J - I (2)	+	—
A									
A	B	375.00	99.48	161.46	»	0.821	»	1.450	»
A	α	2.00							
A	β	52.50							
B	A	175.00	100.62	»	»	0.820	»	»	»
B	α	70.00							
B	C	375.00	101.26	150.86	»	0.767	»	»	2.849
C	B	175.00	98.86	»	»	0.766	»	»	»
C	α	150.00							
C	β	86.50							
C	D	2.25	105.08	89.03	88.47	0.452	»	»	7.019

[1] Les distances lues sont les distances chaînées suivant la pente, ou bien, si l'on opère à la stadia, $d = H \times Q + (\varphi + \omega)$, voir Annexe C.

[2] (J - I) s'obtient en lisant sur la mire la graduation qui correspond à la ligne de foi du voyant mobile, placé à hauteur du centre de l'objectif de la lunette en station et disposée horizontalement. Voir page 302.

XE D.

d'annotations.

de base.

COTES		OBSERVATIONS.
PRIMITIVES.	CORRIGÉES.	
		Boussole n° 37.
100.000	100.000	Q = 196.3
101.450	101.455	*pu* ε = — 0.05
		A, sur l'accotement Est de la route de Bruxelles à ..., à 0m,25 de la bordure, dans le prolongement de l'accotement Nord du chemin vers ..., en face de la porte de « *Au Chasseur Cabt*. »
		α, croix de la chapelle St-Hubert.
		β, paratonnerre de la campagne de Mr X.
98.601	98.611	*pu* ε = — 0.06.
		B, accotement Est de la route, à 0,25 de la bordure, dans le prolongement de l'axe du chemin vers la chapelle St-Hubert.
		C, accotement Est de la route, à 0.25 de la bordure, à hauteur de la borne hectométrique n° 9.
91.582	91.597	*pu* ε = — 0.04.
		D, accotement Ouest de la route, à 0,25 de la bordure, dans le prolongement du bord Sud du chemin vers....

DÉSIGNATIONS.		ANGLES.		DISTANCES.		HAUTEURS.		DIFFÉRENCES DE NIVEAU	
DES POINTS DE STATION.	DES POINTS OBSERVÉS.	HORIZONTAUX (AZIMUTS).	VERTICAUX (ZÉNITHAUX).	LUES.	RÉDUITES.	DE MIRE.	J - I	+	—
F	G	96.50	92.15	164.21	161.63	0.835	»	20.157	»
Q	R	255.00	99.07	196,99	»	1.002	»	3.033	
R	Q	55.00	101.03	»	»	1.000	»	»	»
R	α	347.00							
R	A	63.75	94.88	133.98	133.15	0.681	»	10.812	»
A	R	263.75	105.20	»	»	0.680	»		

COTES.		OBSERVATIONS.
PRIMITIVES.	CORRIGÉES.	
121.440	121.470	En H, déviation locale de 2 grades; construction de l'angle GHI par la différence des azimuts lus.
89.098	89.183	*pv* $\varepsilon = -0.05$.
		R est sur l'accotement Nord, à dix centimètres de la bordure du pavé. (*Luzerne* / *Pommes de terre*)
99.910	100.000	*pu* $\varepsilon = -0.04$
		18 sommets. Erreurs de fermeture: Longueur . . . 1m. Direction . . . 0g.25. Hauteur . . . 0m.09.

1re traverse

DÉSIGNATIONS		ANGLES.		DISTANCES.		HAUTEURS.		DIFFÉRENCES DE NIVEAU.	
DES POINTS DE STATION.	DES POINTS OBSERVÉS.	HORIZONTAUX (AZIMUTS).	VERTICAUX (ZÉNITHAUX).	LUES.	RÉDUITES.	DE MIRE.	J - I	+	—
B									
B	*a*	63.50	100.09	63,90	»	0.324	»	»	0.031
a	B	263.50	100.03	»	»	0.324	»	»	»
a	*β*	66.00							
a	*b*	387.25	106 94	107.28	105.99	0.545	1.30	»	12.821
b	*a*	187,25	93.16	»	»	0.546	»	»	»
b	*α*	190.50							
d	F	27.25	95.03	47.50	47.20	0.236	»	3.506	»
F	*d*	227.25	104.47	»	»	0.235	»	»	»

de B sur F.

COTES.		OBSERVATIONS.
PRIMITIVES.	CORRIGÉES.	
	101.455	Q = 196.3.
101.424	101.415	*pv* ε = − 0.06. *a*, sur le talus Ouest, dans l'axe de la chapelle. Chap. St Hubert
88.603	88.585	*pv* ε = − 0.05. (J - I) *b*, milieu du ponceau.
		Au point *c*, accident à la boussole. A partir de *c* sur *d*, boussole n° 26. (Voir Annexe F.) Q = 200. ε = 0.24. *d*, axes des deux chemins.
101.353	101.308	*pu* ε = + 0.25.
		5 sommets. Erreurs de fermeture. { Longueur . . 2m. Direction . . 0g.50. Hauteur . . . 0m045.

1re traverse de

DÉSIGNATIONS des points de station.	DÉSIGNATIONS des points observés.	ANGLES horizontaux. (Azimuts).	ANGLES verticaux (Zénithaux).	DISTANCES lues.	DISTANCES réduites.	HAUTEURS de mire.	HAUTEURS J - I	DIFFÉRENCES DE NIVEAU +	DIFFÉRENCES DE NIVEAU —
G									
G	1	172.00	96.48	68.7	68.54	0.342	»	3.513	»
1	G	372.00	103.00	»	»	0.340	»	»	»
	2	168.50	96.36	52.7	52.57	0.262	1.27	1.524	»
	3	234.00	93.27	42.3	41.92	0.210	1.27	3.005	»
	4	93.00	93.70	38.3	37.95	0.190	1.27	2.342	»
2	β	229.50							
	5	165.00	96.24	72.9	72.73	0.363	1.32	2.682	»
	6	88.00	93.74	50.3	49.86	0.250	1.32	3.393	»
	7	228.00	92.20	56.3	55.41	0.280	1.32	5.273	»
5	8	162.25	96.18	102.3	101.90	0.510	1.26	4.446	»
13	L	151.50	95.72	94.7	94.32	0.472	1.31	4.653	»

nivellement de G sur L.

COTES PRIMITIVES.	COTES CORRIGÉES.		OBSERVATIONS.
	121.470		Q = 200.
124.983	124.963	*pu*	$\varepsilon = + 0.26.$
»	»		
126.507	126.467	*pu*	*Trèfle* *Labouré* 2 *Navets* *Chaume*
127.988	127.948	*pv*	
127.325	127.285	*pv*	
»	»		
129.189	129.129	*pu*	
129.900	129.840	*pv*	
131.780	131.720	*pv*	
133.635	133.555	*pu*	
			6 sommets. — Erreurs en hauteur 0m122.
156.456	156.334	*pu*	

Bouts de

DÉSIGNATIONS		ANGLES.		DISTANCES		HAUTEURS.		DIFFÉRENCES DE NIVEAU	
DES POINTS DE STATION.	DES POINTS OBSERVÉS.	HORIZONTAUX. (AZIMUTS.)	VERTICAUX (ZÉNITHAUX).	LUES.	RÉDUITES.	DE MIRE.	J - I	+	−
b									
b	58	54.00	98.73	68.7	»	0.342	»	1.101	»
58	*b*	254.00	101.77	»	»	0.342	»	»	»
	59	102.00	93.27	53.1	52.6	0.264	1.30	4.076	»
	60	5.00	94.43	64.9	64.5	0.323	1.30	4.102	»
58	61	48.50	98.58	73.9	»	0.368	»	1.347	»
61	58	248.50	101.94	»	»	0.368	»	»	»
	62	98.00	93.47	57.3	56.8	0.285	1.27	4.342	»
	63	397.00	92.78	50.7	50.1	0.252	1.27	4.228	»
61	64	63.25	98.38	64.3	»	0.320	»	1.394	»
64	61	263.25	102.10	»	»	0.320	»	»	»
	65	57.00	97.80	31,3	»	0.155	»	0.964	»
h									
h	66	123.50	99.63	106.7	»	0.532	1.32	»	1.118

cheminements.

COTES		OBSERVATIONS.		
PRIMITIVES.	CORRIGÉES.			
»	88.585			$Q = 200.$
89.686	»	*pu*	$\varepsilon = + 0.25.$	
»	»			
93.762	»	*pv*		
93.788	»	*pv*		
91.033	»	*pu*	$\varepsilon = + 0.26.$	
»	»			
95.375	»	*pv*		
95.261	»	*pv*		
92.427	»	*pu*	$\varepsilon = + 0.24.$	
»	»			
93.391	»	*pu*		
»	122.469			
121.351		*pu*	$\varepsilon = + 0.25.$	

ANNEXE *E*.

Calcul des cotes. — Points de cote ronde.

Le calcul des différences de niveau demande une attention soutenue : ce n'est pas une opération difficile, mais tous ceux qui ont travaillé à l'éclimètre savent que l'on commet facilement des erreurs et se souviennent des ennuis que leur ont causé des distractions. On ne calcule jamais les cotes sur le terrain (voir p. 303).

On se sert de la formule $dn = K \cot z$, lorsque l'on a visé parallèlement au sol, et de la formule $dn = K \cot z \pm (J - I)$, lorsque l'on a pointé sur la ligne de foi du voyant supérieur de la mire.

K est la distance réduite à l'horizon (p. 317).

z est la distance zénithale : c'est la distance lue l, corrigée de l'erreur de collimation ε. On a donc $z = l \pm \varepsilon$.

$K \cot z$ se calcule au moyen d'une *Table des cotangentes naturelles* qui fait suite à ce *Programme* (p. 335).

Le maniement de cette table, en usage à l'École militaire, ne présente aucune difficulté : on lit, dans les colonnes extrêmes, les distances zénithales z et, sur la ligne de chaque distance zénithale, $K \cot z$ pour une distance réduite à l'horizon $K = 1, 2, 3 ..., 8$ ou 9 mètres dans les colonnes 1, 2, 3 ..., 8 ou 9.

On ajoute à $K \cot z$, s'il y a lieu, $\pm (J - I)$ (voir p. 302 et le *Cours de topographie*, 2ᵉ Partie, p. 233)

$+ (J - I)$ quand z est plus grand que 100 grades.

$- (J - I)$ quand z est plus petit que 100 grades.

Si $z = 100$, $K \cot z = 0$. La différence de niveau est zéro si l'on a visé parallèlement au sol, tandis que si l'on a pointé sur le voyant supérieur la pente est descendante et $dn = (J - I)$.

Les calculs doivent être faits *méthodiquement*, dans un cahier préparé à cette fin. Chaque élève tiendra journellement au courant *son cahier de calculs*.

La bibliothèque délivre des cahiers autographiés du modèle ci-après.

Du point de station ... sur le point ....

K = ..., ...   *l* = ..., ...   *dn* = K cot z ... (J-I) [1].

(J-I) = ..., ... ε = ..., ...

z =

K	00,00 —	..., ...
	0,00 —	..., ...
	,00 —	..., ...
	0,.0 —	..., ...
	0,0. —	..., ...
	K cot z =	..., ...
	(J-I) =	..., ...
	dn =	..., ...

cote de ... = ...
dn = ...
cote de ... = ...

Quelques exemples indiqueront le mode d'emploi de la table des cotangentes et du cahier des calculs. Les données des calculs sont prises dans le registre (annexe D).

1° *Du point de station* B *sur le point* C.

K = 150,86   *l* = 101,26   *dn* = K cot z ... (J-I).

(J-I) = ... ε = —0,06

z = 101,20

K	100,00 —	1,89
	50,00 —	0,943
	,00 —	.,...
	0,80 —	0,01508
	0,06 —	0,001131
	K cot z =	2,849211
	(J-I) =	.,...
	dn =	2,849

cote de B = 101,450
dn = —2,849
cote de C = 98,601

Remarque. — On a visé parallèlement au sol, on supprime (J-I) dans la formule, on biffe (J-I) dans le cahier de calculs.

2° *Du point de station a sur le point b.*

K = 105,99   *l* = 106,94   *dn* = K*cotz* + (J-I).

(J-I) = 1,30 ε = —0,05

z = 106,89

K	100,00 —	10,87
	0,00 —	.,...
	5,00 —	0,5433
	0,90 —	0,09778
	0,09 —	0,009778
	K cot z =	11,520858
	+ (J — J) =	+1,30
	dn =	12,820858

cote de *a* = 101,424
dn = —12,821
cote de *b* = 88,603

[1] + (J-I) quand $z > 100$; — (J-I) quand $z < 100$ grades.

Remarque. — La distance zénithale 106,89 n'est pas dans la table : on prend 106,88 et l'on ajoute aux différences de niveau, lues dans les colonnes, les différences pour une minute données au bas de la page.

10,85	0,5425	0,09764	0,009764
0,02	0,0008	0,00014	0,000014
10,87	0,5433	0,09778	0,009778

On ajoute (J — I), z étant > 100 grades. La pente étant descendante, on soustrait dn de la cote a.

3° *Du point de station* 1 *sur le point* 2.

K = 52,57 l = 96,36 dn = K cot z — (J — I).
(J — I) = 1,27 ε = +0,26
z = 96,62

K	00,00 —	..,...
	50,00 —	2,657
	2,00 —	0,1063
	0,50 —	0,02657
	0,07 —	0,00372
	K cot z =	2,79359
	— (J — I) =	—1,27
	dn =	1,52359

cote de 1 = 124,983
dn = +1,524
cote de 2 = 126,507

Remarques. — La distance zénithale 96.62 n'est pas dans la table, on prend 96.64 et l'on ajoute les différences pour 2 minutes du bas de la page; z est < 100, on soustrait (J — I); la pente est ascendante, on ajoute dn à la cote de 1.

4° *Du point de station h sur le point* 66.

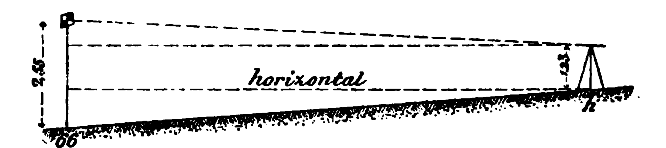
K = 106.70 l = 99.63 dn = K cot z — (J — I)
(J — I) = 1.32 ε = + 0.25
z = 90.88

K	100,00 —	0,19
	0,00 —	.,.....
	6,00 —	0,0113
	0,70 —	0,00132
	0,.0 —	.,.....
	K cot z =	0,20262
	— (J — I) =	— 1,32
	dn =	— 1,118

Cote de h = 122,469
dn = —1,118
Cote de 66 = 121,351

Remarques. — K cot z est plus petit que (J — J) et dn est négative; la pente est réellement descendante et, si l'éclimètre semble indiquer une pente

ascendante, cela provient de ce que la ligne de foi du voyant supérieur de



la mire est à 2^m 55 au-dessous du point 66, tandis que la lunette ne se trouve qu'à 1^m 23 au-dessus du point *h*.

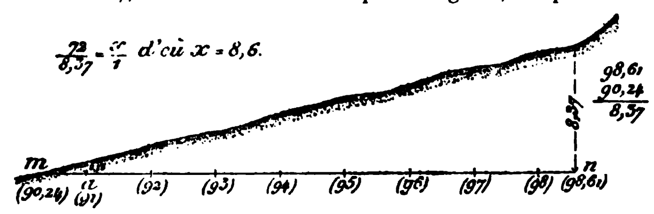
Ce cas se présente assez fréquemment.

Abaques. - Le calcul des différences de niveau de tous les sommets du canevas sera fait à l'aide de la *Table des cotangentes naturelles*. Les résultats des opérations chiffrées seront soumis au contrôle des abaques du capitaine GOEDSEELS.

On pourra se servir *exclusivement* des abaques pour le calcul des différences de niveau des points appartenant à des bouts de cheminements et aux rayonnements.

Voir le *Cours de topographie*, 2ᵉ Partie page 241, *Exemples de calculs au moyen de ces abaques*.

Points de cote ronde. — Pour déterminer les points de cote ronde sur une ligne *mn*, d'une longueur de 72 millim. (144 mèt. sur le terrain), cotée comme l'indique la figure, on posera :



$8^{mm}6$ est la projection horizontale pour un mètre de différence de niveau.

Le point *a* (91) s'obtiendra en cherchant *ma*, la projection horizontale pour une différence de niveau 91 — 90.24 = 0.76.

$$ma = 8,6 \times 0,76 = 6,5 \text{ millimètres.}$$

Pour obtenir les points 92, 93, 94, etc., on portera, à partir de *a* vers *n*, des longueurs de 8, 6 millimètres.

Sur la minute, on marquera légèrement au crayon les points de cote ronde et l'on écrira une ou deux cotes sur chaque ligne (voir page 310).

Il est bien évident que l'on ne pourra déterminer les points de cote ronde que sur les lignes de nivellement qui appartiennent au terrain (de pente uniforme, notées *pu* dans le carnet et représentées par un trait plein sur la minute).

Si la ligne n'appartient pas au terrain (*pv* dans le carnet, traits interrompus sur la minute), on intercalera les courbes de niveau, à vue sur le terrain, entre ses deux points extrêmes dont les cotes sont connues : la distance horizontale entre les points de cote ronde, sur cette ligne, variera avec les pentes.

ANNEXE *F*.

Remplacement d'une boussole.

Si, par suite de l'une ou de l'autre cause accidentelle, la boussole est mise hors de service pendant le levé et remplacée par une autre boussole, il faut vérifier avant tout le nouvel instrument, régler son niveau, chercher le coefficient de sa lunette, déterminer la correction de collimation de son éclimètre. Voir *Opérations du 1er jour,* page 288.

Il est nécessaire de régler ensuite la nouvelle boussole de façon à ce que le treillis de méridiens et de parallèles, déjà tracé sur la minute d'après les indications de l'ancienne boussole, convienne pour construire les azimuts que l'on observera à l'aide de la nouvelle. L'instrument étant en station au point A du côté de départ AB, dont l'azimut a été soigneusement observé à l'aide de la première boussole, on pointe la lunette sur la mire que l'aide tient au point B, on lit l'azimut : si l'azimut indiqué par la nouvelle boussole diffère de celui que marquait l'ancienne, noté dans le registre, on desserre la vis du limbe et l'on fait tourner *le limbe* jusqu'à ce que la division indiquant l'azimut donné par l'ancienne boussole vienne exactement en regard de la pointe bleue de l'aiguille; on serre alors fortement la vis du limbe. (S'assurer, avant de fixer le limbe, de ce que la lunette est

toujours dirigée sur le centre du voyant de la mire, les efforts que l'on fait pour modifier la position du limbe pouvant déranger le pointage).

Remarque. — Les vieilles boussoles de l'École militaire ont leur limbe divisé en degrés : il faut nécessairement, avant de régler une boussole de l'espèce, réduire l'azimut donné en grades, par la boussole mise hors de service, en un azimut en degrés ; il sera indispensable de se procurer également un rapporteur en degrés.

Les anciens éclimètres de l'École donnent les distances nadirales : on remplace z par n dans les formules. (Annexe E.)

On a : $dn = \mathrm{K}\cot n$ ou $dn = \mathrm{K}\cot n \pm (\mathrm{J} - \mathrm{I})$.

Il y a lieu de remarquer que dn change de signe et qu'il faut $+ (\mathrm{J} - \mathrm{I})$ quand $n < 100$ et $- (\mathrm{J} - \mathrm{I})$ quand $n > 100$.

Le calcul de K*cotn*, par la *Table des cotangentes*, s'effectue absolument de la même façon que le calcul de K*cotz*. (Annexe E).

Quelques-uns de ces anciens éclimètres ont des verniers additifs donnant la minute centésimale ; mais, les divisions de ces verniers n'étant pas numérotées dans le même sens que les divisions des limbes, il faut faire les lectures comme si les verniers étaient soustractifs : on lit donc sur le limbe la distance nadirale immédiatement *au-dessus* du zéro du vernier et on en *soustrait* le nombre de minutes indiqué par le trait du vernier en coïncidence.

Ex. — Le trait zéro du vernier est entre les divisions 102,25 et 102,50 du limbe, le trait 15 du vernier est en coïncidence avec une division du limbe :

$$n = 102{,}50 - 0{,}15 = 102{,}35.$$

Dans la colonne *Observations* du carnet, à hauteur des annotations relatives à la première station faite avec la boussole-éclimètre de rechange, on inscrira le numéro de celle-ci, son coefficient et sa correction de collimation. Si la première boussole donnait les distances zénithales et si la seconde donne les distances nadirales, on ne négligera pas de noter cette particularité et l'on remplacera (zénithaux) par (nadiraux) dans l'entête de la 4ᵉ colonne du registre. (Annexe D.)



TABLE DES COTANGENTES NATURELLES

POUR LE CALCUL DES DIFFÉRENCES DE NIVEAU.

Distance nadirale ou zenithale.	Différences de niveau correspondant aux distances horizontales.									Distance nadirale ou zenithale.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
100g00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	100
04	0,0006	0,0013	0,0019	0,0025	0,0031	0,0038	0,0044	0,0050	0,0057	96
08	0,0013	0,0025	0,0038	0,0050	0,0063	0,0075	0,0088	0,0101	0,0113	92
12	0,0019	0,0038	0,0057	0,0075	0,0094	0,0113	0,0132	0,0151	0,0170	88
16	0,0025	0,0050	0,0075	0,0101	0,0126	0,0151	0,0176	0,0201	0,0226	84
20	0,0031	0,0063	0,0094	0,0126	0,0157	0,0189	0,0220	0,0251	0,0283	99 80
24	0,0038	0,0075	0,0113	0,0151	0,0189	0,0226	0,0264	0,0302	0,0339	76
28	0,0044	0,0088	0,0132	0,0176	0,0220	0,0264	0,0308	0,0352	0,0396	72
32	0,0050	0,0101	0,0151	0,0201	0,0251	0,0302	0,0352	0,0402	0,0452	68
36	0,0057	0,0113	0,0170	0,0226	0,0283	0,0339	0,0396	0,0452	0,0509	64
40	0,0063	0,0126	0,0188	0,0251	0,0314	0,0377	0,0440	0,0503	0,0565	99 60
44	0,0069	0,0138	0,0207	0,0276	0,0346	0,0415	0,0484	0,0553	0,0622	56
48	0,0075	0,0151	0,0226	0,0302	0,0377	0,0452	0,0528	0,0603	0,0679	52
52	0,0082	0,0163	0,0245	0,0327	0,0408	0,0490	0,0572	0,0653	0,0735	48
56	0,0088	0,0176	0,0264	0,0352	0,0440	0,0528	0,0616	0,0704	0,0792	44
60	0,0094	0,0189	0,0283	0,0377	0,0471	0,0566	0,0660	0,0754	0,0848	99 40
64	0,0101	0,0201	0,0302	0,0402	0,0503	0,0603	0,0704	0,0804	0,0905	36
68	0,0107	0,0214	0,0320	0,0427	0,0534	0,0641	0,0748	0,0855	0,0961	32
72	0,0113	0,0226	0,0339	0,0452	0,0566	0,0679	0,0792	0,0905	0,1018	28
76	0,0119	0,0239	0,0358	0,0478	0,0597	0,0716	0,0836	0,0955	0,1074	24
80	0,0126	0,0251	0,0377	0,0503	0,0628	0,0754	0,0880	0,1005	0,1131	99 20
84	0,0132	0,0264	0,0396	0,0528	0,0660	0,0792	0,0924	0,1056	0,1188	16
88	0,0138	0,0276	0,0415	0,0553	0,0691	0,0829	0,0968	0,1106	0,1244	12
92	0,0145	0,0289	0,0434	0,0578	0,0723	0,0867	0,1012	0,1156	0,1301	08
96	0,0151	0,0302	0,0452	0,0603	0,0754	0,0905	0,1056	0,1206	0,1357	04
100	0,0157	0,0314	0,0471	0,0628	0,0785	0,0943	0,1100	0,1257	0,1414	99g00
101g00	0,0157	0,0314	0,0471	0,0628	0,0785	0,0943	0,1100	0,1257	0,1414	100
04	0,0163	0,0327	0,0490	0,0654	0,0817	0,0980	0,1144	0.1307	0,1470	96
08	0,0170	0,0339	0.0509	0,0679	0,0848	0,1018	0,1188	0,1357	0,1527	92
12	0.0176	0,0352	0,0528	0,0704	0,0880	0,1056	0,1232	0,1408	0,1584	88
16	0,0182	0,0364	0,0547	0,0729	0,0911	0,1093	0,1276	0,1458	0,1640	84
20	0,0189	0,0377	0,0566	0,0754	0,0943	0,1131	0,1320	0,1508	0,1697	98 80
24	0,0195	0,0390	0,0584	0,0779	0,0974	0,1169	0,1364	0,1558	0,1753	76
28	0,0201	0,0402	0,0603	0,0804	0,1005	0,1207	0,1408	0,1609	0,1810	72
32	0,0207	0,0415	0,0622	0,0830	0,1037	0,1244	0,1452	0,1659	0,1866	68
36	0,0214	0,0427	0,0641	0,0855	0,1068	0,1282	0.1496	0,1709	0,1923	64
40	0,0220	0,0440	0,0660	0,0880	0,1100	0,1320	0,1540	0,1760	0,1980	98 60
44	0,0226	0,0452	0,0679	0,0905	0,1131	0,1357	0,1584	0,1810	0,2036	56
48	0,0233	0,0465	0,0698	0,0930	0,1163	0,1395	0,1628	0,1860	0,2093	52
52	0,0239	0,0478	0,0716	0,0955	0,1194	0,1433	0,1672	0,1910	0,2149	48
56	0,0245	0,0490	0,0735	0,0980	0,1225	0,1471	0,1716	0,1961	0,2206	44
60	0,0251	0,0503	0,0754	0,1006	0,1257	0,1508	0,1760	0,2011	0,2262	98 40
64	0,0258	0,0515	0,0773	0.1031	0,1288	0,1546	0,1804	0,2061	0,2319	36
68	0,0264	0,0528	0,0792	0,1056	0,1320	0,1584	0,1848	0,2112	0,2376	32
72	0,0270	0,0540	0,0811	0,1081	0,1351	0,1621	0.1892	0,2162	0,2432	28
76	0,0277	0,0553	0,0830	0,1106	0,1383	0,1659	0,1936	0,2212	0,2489	24
80	0,0283	0,0566	0,0848	0,1131	0,1414	0,1697	0,1980	0,2263	0,2545	98 20
84	0,0289	0,0578	0,0867	0,1156	0,1446	0,1735	0,2024	0,2313	0,2602	16
88	0,0295	0,0591	0,0886	0,1182	0,1477	0,1772	0,2068	0,2363	0,2659	12
92	0,0302	0,0603	0,0905	0.1207	0,1508	0,1810	0,1212	0,2413	0,2715	08
96	0,0308	0,0616	0,0924	0,1232	0,1540	0,1848	0,2156	0,2464	0,2772	04
100	0,0314	0,0629	0,0943	0,1257	0,1571	0,1886	0,2200	0,2514	0,2828	98g00

DIFFÉRENCES.

1′	0,0002	0,0003	0,0005	0,0006	0,0008	0,0009	0,0011	0,0013	0,0014	1′
2′	0,0003	0.0006	0,0009	0,0013	0,0016	0,0019	0,0022	0,0025	0,0028	2′
3′	0,0005	0,0009	0,0014	0,0019	0,0024	0,0028	0,0033	0,0038	0,0042	3′

Distance nadirale ou zénithale.	Différences de niveau correspondant aux distances horizontales. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	Distance nadirale ou zénithale.
102g00	0,0314	0,0629	0,0943	0,1257	0,1571	0,1886	0,2200	0,2514	0,2828	100
04	0,0321	0,0641	0,0962	0,1282	0,1603	0,1923	0,2244	0,2564	0,2885	96
08	0,0327	0,0654	0,0981	0,1307	0,1634	0,1961	0,2288	0,2615	0,2942	92
12	0,0333	0,0666	0,0999	0,1333	0,1666	0,1999	0,2332	0,2665	0,2998	88
16	0,0339	0,0679	0,1018	0,1358	0,1697	0,2037	0,2376	0,2715	0,3055	84
20	0,0346	0,0691	0,1037	0,1383	0,1729	0,2074	0,2420	0,2766	0.3111	97 80
24	0,0352	0,0704	0,1056	0,1408	0,1760	0,2112	0,2464	0,2816	0,3168	76
28	0,0358	0,0717	0,1075	0,1433	0,1791	0,2150	0,2508	0,2866	0,3225	72
32	0,0365	0,0729	0,1094	0,1458	0,1823	0,2188	0,2552	0,2917	0.3281	68
36	0,0371	0,0742	0,1113	0,1484	0,1854	0,2225	0,2596	0,2967	0,3338	64
40	0,0377	0,0754	0,1132	0,1509	0,1886	0,2263	0,2640	0,3017	0.3395	97 60
44	0,0383	0,0767	0,1150	0,1534	0,1917	0,2301	0,2684	0,3068	0,3451	56
48	0,0390	0,0780	0,1169	0,1559	0,1949	0,2339	0,2728	0,3118	0,3508	52
52	0,0396	0,0792	0,1188	0,1584	0,1980	0,2376	0,2772	0,3168	0,3564	48
56	0,0402	0,0805	0,1207	0,1609	0,2012	0,2414	0,2816	0,3219	0,3621	44
60	0,0409	0,0817	0,1226	0,1635	0,2043	0,2452	0,2860	0,3269	0,3678	97 40
64	0,0415	0,0830	0,1245	0,1660	0,2075	0,2490	0,2905	0,3319	0,3734	36
68	0,0421	0,0842	0,1264	0,1685	0,2106	0,2527	0,2949	0,3370	0,3791	32
72	0,0428	0,0855	0,1283	0,1710	0,2138	0,2565	0,2993	0,3420	0,3848	28
76	0,0434	0,0868	0,1301	0,1735	0,2169	0,2603	0,3037	0,3470	0,3904	24
80	0,0440	0,0880	0,1320	0,1760	0,2201	0,2641	0,3081	0,3521	0,3961	97 20
84	0,0446	0,0893	0,1339	0,1786	0,2232	0,2678	0,3125	0,3571	0,4018	16
88	0,0453	0,0905	0,1358	0,1811	0,2264	0,2716	0,3169	0,3622	0,4074	12
92	0,0459	0,0918	0,1377	0,1836	0,2295	0,2754	0,3213	0,3672	0.4131	08
96	0,0465	0,0931	0,1396	0,1861	0,2326	0,2792	0,3257	0,3722	0,4188	04
100	0,0472	0,0943	0,1415	0,1886	0,2358	0,2829	0,3301	0,3773	0,4244	97g00
103g00	0,0472	0,0943	0,1415	0,1886	0,2358	0,2829	0,3301	0,3773	0,4244	100
04	0,0478	0,0956	0,1434	0,1912	0,2389	0,2867	0,3345	0.3823	0,4301	96
08	0,0484	0,0968	0,1453	0,1937	0,2421	0,2905	0,3389	0,3873	0,4358	92
12	0,0490	0,0981	0,1471	0,1962	0,2452	0,2943	0,3433	0,3924	0,4414	88
16	0,0497	0,0994	0,1490	0,1987	0,2484	0,2981	0,3477	0,3974	0,4471	84
20	0,0503	0,1006	0,1509	0,2012	0,2515	0,3018	0,3522	0,4025	0,4528	96 80
24	0,0509	0,1019	0,1528	0,2038	0,2547	0,3056	0,3566	0,4075	0,4584	76
28	0,0516	0,1031	0,1547	0,2063	0,2578	0,3094	0,3610	0,4125	0,4641	72
32	0,0522	0.1044	0,1566	0,2088	0.2610	0,3132	0.3654	0,4176	0,4698	68
36	0,0528	0,1057	0,1585	0,2113	0,2641	0,3170	0,3698	0,4226	0,4755	64
40	0,0535	0,1069	0,1604	0,2138	0,2673	0,3207	0,3742	0.4277	0,4811	96 60
44	0,0541	0,1082	0,1623	0,2164	0,2704	0,3245	0,3786	0,4327	0,4868	56
48	0,0547	0,1094	0,1642	0,2189	0,2736	0,3283	0,3830	0,4377	0,4925	52
52	0,0553	0,1107	0,1660	0,2214	0,2767	0,3321	0,3874	0,4428	0,4981	48
56	0,0560	0,1120	0,1679	0,2239	0,2799	0,3359	0,3918	0,4478	0,5038	44
60	0,0566	0,1132	0,1698	0,2264	0,2831	0,3397	0,3963	0,4529	0,5095	96 40
64	0,0572	0,1145	0,1717	0,2290	0,2862	0,3434	0,4007	0,4579	0,5152	36
68	0,0579	0,1157	0,1736	0,2315	0,2894	0,3472	0,4051	0,4630	0,5208	32
72	0,0585	0,1170	0,1755	0,2340	0,2925	0,3510	0,4095	0,4680	0,5265	28
76	0,0591	0,1183	0,1774	0,2365	0,2957	0,3548	0,4139	0,4730	0,5322	24
80	0,0598	0,1195	0,1793	0,2390	0,2988	0,3586	0,4183	0,4781	0,5378	96 20
84	0,0604	0,1208	0,1812	0,2416	0,3020	0,3624	0,4227	0,4831	0,5435	16
88	0,0610	0,1220	0,1831	0,2441	0,3051	0,3661	0,4272	0,4882	0,5492	12
92	0,0617	0,1233	0,1850	0,2466	0,3083	0,3699	0,4316	0,4932	0,5549	08
96	0,0623	0,1246	0,1869	0,2491	0,3114	0,3737	0,4360	0,4983	0,5606	04
100	0,0629	0,1258	0,1887	0,2517	0,3146	0,3775	0,4404	0,5033	0,5662	96g00
	DIFFÉRENCES.									
1'	0,0002	0.0003	0,0005	0,0006	0,0008	0,0009	0,0011	0,0013	0,0014	1'
2'	0,0003	0,0006	0,0009	0,0013	0,0016	0,0019	0,0022	0,0025	0,0028	2'
3'	0,0005	0,0009	0,0014	0,0019	0,0024	0,0028	0,0033	0,0038	0,0042	3'

Distance nadirale ou zénithale.	Différences de niveau correspondant aux distances horizontales.									Distance nadirale ou zénithale.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
104g00	0,0629	0,1258	0,1887	0,2517	0,3146	0,3775	0,4404	0,5033	0,5662	100
04	0,0635	0,1271	0,1906	0,2542	0,3177	0,3813	0,4448	0,5084	0,5719	96
08	0,0642	0,1284	0,1925	0,2567	0.3209	0,3851	0,4492	0,5134	0,5776	92
12	0,0648	0,1296	0,1944	0,2592	0,3240	0,3888	0,4536	0,5185	0,5833	88
16	0,0654	0,1309	0,1963	0,2618	0,3272	0,3926	0,4581	0,5235	0,5889	84
20	0,0661	0,1321	0,1982	0,2643	0,3303	0,3964	0,4625	0,5286	0,5946	95 80
24	0,0667	0,1334	0,2001	0,2668	0,3335	0,4002	0,4669	0,5336	0,6003	76
28	0,0673	0,1347	0,2020	0,2693	0,3367	0,4040	0,4713	0,5387	0,6060	72
32	0,0680	0,1359	0,2039	0,2719	0,3398	0,4078	0,4757	0,5437	0,6117	68
36	0,0686	0,1372	0,2058	0,2744	0,3430	0,4116	0,4802	0,5488	0,6173	64
40	0,0692	0,1385	0,2077	0,2769	0,3461	0,4154	0,4846	0,5538	0,6230	95 60
44	0,0699	0,1397	0,2096	0,2794	0,3493	0,4191	0,4890	0,5589	0,6287	56
48	0,0705	9,1410	0,2115	0,2820	0,3524	0,4229	0,4934	0,5639	0,6344	52
52	0,0711	0,1422	0,2134	0,2845	0.3556	0,4267	0,4978	0,5690	0,6401	48
56	0,0718	0,1435	0,2153	0,2870	0,3588	0,4305	0.5023	0,5740	0,6458	44
60	0,0724	0,1448	0,2171	0,2895	0,3619	0,4343	0,5067	0,5791	0,6514	95 40
64	0,0730	0,1460	0,2190	0,2921	0,3651	0,4381	0,5111	0,5841	0,6571	36
68	0,0736	0,1473	0,2209	0,2946	0,3682	0,4419	0,5155	0,5892	0,6628	32
72	0,0743	0,1486	0,2228	0,2971	0,3714	0,4457	0,5199	0,5942	0,6685	28
76	0,0749	0,1498	0,2247	0,2996	0,3746	0,4495	0,5244	0,5993	0,6742	24
80	0,0755	0,1511	0,2266	0,3022	0,3777	0,4533	0,5288	0,6043	0,6799	95 20
84	0,0762	0,1523	0,2285	0,3047	0,3809	0,4570	0,5332	0,6094	0,6856	16
88	0,0768	0,1536	0,2304	0.3072	0,3840	0,4608	0,5376	0,6144	0,6912	12
92	0,0774	0.1549	0,2323	0,3097	0,3872	0,4646	0,5421	0,6195	0,6969	08
96	0,0781	0,1561	0,2342	0,3123	0,3903	0,4684	0,5465	0,6246	0,7026	04
100	0,0787	0,1574	0,2361	0,3148	0,3935	0,4722	0,5509	0,6296	0,7083	95g00
105g00	0,0787	0,1574	0,2361	0,3148	0,3945	0,4722	0,5509	0,6296	0,7083	100
04	0,0793	0,1587	0,2380	0,3173	0,3967	0,4760	0,5553	0,6347	0,7140	96
08	0,0800	0,1599	0,2399	0,3199	0,3998	0,4798	0,5598	0.6397	0,7197	92
12	0,0806	0,1612	0,2418	0,3224	0,4030	0,4836	0,5642	0,6448	0,7254	88
16	0,0812	0,1625	0,2437	0,3249	0,4062	0,4874	0,5686	0,6498	0,7311	84
20	0,0819	0,1637	0,2456	0,3275	0,4093	0,4912	0,5731	0,6549	0,7368	94 80
24	0,0825	0,1650	0,2475	0,3300	0,4125	0,4950	0,5775	0,6600	0,7425	76
28	0,0831	0,1663	0,2494	0.3325	0,4156	0,4988	0,5819	0,6650	0,7482	72
32	0,0838	0.1675	0,2513	0,3350	0,4188	0,5026	0,5863	0,6701	0,7539	68
36	0,0844	0,1688	0,2532	0,3376	0,4220	0,5064	0,5908	0,6752	0,7595	64
40	0.0850	0,1701	0,2551	0,3401	0,4251	0,5102	0,5952	0,6802	0,7652	94 60
44	0,0857	0,1713	0,2570	0,3426	0,4283	0,5140	0,5996	0,6853	0,7709	56
48	0,0863	0,1726	0,2589	0,3452	0,4315	0,5178	0,6041	0,6904	0,7766	52
52	0,0869	0,1739	0,2608	0,3477	0,4346	0,5216	0,6085	0,6954	0,7823	48
56	0,0876	0,1751	0,2627	0,3502	0,4378	0,5254	0,6129	0,7005	0,7880	44
60	0,0882	0,1764	0,2646	0,3528	0,4410	0,5292	0,6173	0,7055	0,7937	94 40
64	0,0888	0,1777	0,2665	0,3553	0.4441	0,5330	0,6218	0,7106	0,7994	36
68	0,0895	0,1789	0,2684	0,3578	0,4473	0,5367	0,6262	0,7157	0,8051	32
72	0,0901	0,1802	0,2703	0,3604	0,4505	0,5406	0.6307	0.7207	0,8108	28
76	0,0907	0,1815	0,2722	0,3629	0,4536	0,5444	0,6351	0,7258	0,8165	24
80	0,0914	0,1827	0,2741	0,3654	0,4568	0,5482	0,6395	0,7309	0,8222	94 20
84	0,0920	0,1840	0,2760	0,3680	0,4600	0,5520	0.6439	0,7359	0,8279	16
88	0,0926	0,1853	0,2779	0,3705	0,4631	0,5558	0,6484	0,7410	0,8336	12
92	0,0933	0,1865	0.2798	0,3730	0,4663	0,5596	0.6528	0,7461	0,8393	08
96	0,0939	0,1878	0,2817	0,3756	0,4695	0.5634	0,6573	0,7512	0,8450	04
100	0,0945	0,1891	0,2836	0,3781	0,4726	0,5672	0,6617	0,7562	0,8508	94g00
					DIFFÉRENCES.					
1′	0,0002	0,0003	0,0005	0,0006	0,0008	0,0009	0,0011	0,0013	0,0014	1′
2′	0,0003	0,0006	0,0009	0,0013	0,0016	0,0019	0,0022	0,0025	0,0028	2′
3′	0,0005	0,0009	0,0014	0,0019	0,0024	0,0028	0.0033	0,0038	0,0042	3′

Distance nadirale ou zénithale.	Différences de niveau correspondant aux distances horizontales.									Distance nadirale ou zénithale.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
106g00	0,0945	0,1891	0,2836	0,3781	0,4726	0,5672	0,6617	0,7562	0,8508	100
04	0,0952	0,1903	0,2855	0,3806	0,4758	0,5710	0,6661	0,7613	0,8565	96
08	0,0958	0,1916	0,2874	0,3832	0,4790	0,5748	0,6706	0,7664	0,8622	92
12	0,0964	0,1929	0,2893	0,3857	0,4822	0,5786	0,6750	0,7714	0,8670	88
16	0,0971	0,1941	0,2912	0,3883	0,4853	0,5824	0,6794	0,7765	0,8736	84
20	0,0977	0,1954	0,2931	0,3908	0,4885	0,5862	0,6839	0,7816	0,8793	93 80
24	0,0983	0,1967	0,2950	0,3933	0,4917	0,5900	0,6883	0,7867	0,8850	76
28	0,0990	0,1979	0,2969	0,3959	0,4948	0,5938	0,6928	0,7917	0,8907	72
32	0,0996	0,1992	0,2988	0,3984	0,4980	0,5976	0,6972	0,7968	0,8964	68
36	0,1002	0,2005	0,3007	0,4009	0,5012	0,6014	0,7017	0,8019	0,9021	64
40	0,1009	0,2017	0,3026	0,4035	0,5044	0,6052	0,7061	0,8070	0,9078	93 60
44	0,1015	0,2030	0,3045	0,4060	0,5075	0,6090	0,7105	0,8120	0,9136	56
48	0,1021	0,2043	0,3064	0,4086	0,5107	0,6128	0,7150	0,8171	0,9193	52
52	0,1028	0,2056	0,3083	0,4111	0,5139	0,6167	0,7194	0,8222	0,9250	48
56	0,1034	0,2068	0,3102	0,4136	0,5170	0,6205	0,7239	0,8273	0,9307	44
60	0,1040	0,2081	0,3121	0,4162	0,5202	0,6243	0,7283	0,8324	0,9364	93 40
64	0,1047	0,2094	0,3140	0,4187	0,5234	0,6281	0,7328	0,8375	0,9421	36
68	0,1053	0,2106	0,3159	0,4213	0,5266	0,6319	0,7372	0,8425	0,9478	32
72	0,1060	0,2119	0,3179	0,4238	0,5298	0,6357	0,7417	0,8476	0,9536	28
76	0,1066	0,2132	0,3198	0,4263	0,5329	0,6395	0,7461	0,8527	0,9593	24
80	0,1072	0,2144	0,3217	0,4389	0,5361	0,6433	0,7505	0,8578	0,9650	93 20
84	0,1079	0,2157	0,3236	0,4314	0,5393	0,6471	0,7550	0,8629	0,9707	16
88	0,1085	0,2170	0,3255	0,4340	0,5425	0,6510	0,7595	0,8679	0,9764	12
92	0,1091	0,2183	0,3274	0,4365	0,5456	0,6548	0,7639	0,8730	0,9822	08
96	0,1098	0,2195	0,3293	0,4391	0,5488	0,6586	0,7683	0,8781	0,9879	04
100	0,1104	0,2208	0,3312	0,4416	0,5520	0,6624	0,7728	0,8832	0,9936	93g00
107g00	0,1104	0,2208	0,3312	0,4416	0,5520	0,6624	0,7728	0,8832	0,9936	100
04	0,1110	0,2221	0,3331	0,4442	0,5552	0,6662	0,7773	0,8883	0,9993	96
08	0,1117	0,2233	0,3350	0,4467	0,5584	0,6700	0,7817	0,8934	1,0051	92
12	0,1123	0,2246	0,3369	0,4492	0,5616	0,6739	0,7862	0,8985	1,0108	88
16	0,1129	0,2259	0,3388	0,4518	0,5647	0,6777	0,7906	0,9036	1,0165	84
20	0,1136	0,2272	0,3407	0,4543	0,5679	0,6815	0,7951	0,9087	1,0222	92 80
24	0,1142	0,2284	0,3427	0,4569	0,5711	0,6853	0,7995	0,9138	1,0280	76
28	0,1149	0,2297	0,3446	0,4594	0,5743	0,6891	0,8040	0,9188	1,0337	72
32	0,1155	0,2310	0,3465	0,4620	0,5775	0,6930	0,8084	0,9239	1,0394	68
36	0,1161	0,2323	0,3484	0,4645	0,5806	0,6968	0,8129	0,9290	1,0452	64
40	0,1168	0,2335	0,3503	0,4671	0,5838	0,7006	0,8173	0,9341	1,0509	92 60
44	0,1174	0,2348	0,3522	0,4696	0,5870	0,7044	0,8218	0,9392	1,0566	56
48	0,1180	0,2361	0,3541	0,4722	0,5902	0,7082	0,8263	0,9443	1,0624	52
52	0,1187	0,2374	0,3560	0,4747	0,5934	0,7121	0,8307	0,9494	1,0681	48
56	0,1193	0,2386	0,3579	0,4773	0,5966	0,7159	0,8352	0,9545	1,0738	44
60	0,1200	0,2399	0,3599	0,4798	0,5998	0,7197	0,8397	0,9596	1,0796	92 40
64	0,1206	0,2412	0,3618	0,4824	0,6029	0,7235	0,8441	0,9647	1,0853	36
68	0,1212	0,2425	0,3637	0,4849	0,6061	0,7274	0,8486	0,9698	1,0910	32
72	0,1219	0,2437	0,3656	0,4874	0,6093	0,7312	0,8530	0,9749	1,0968	28
76	0,1225	0,2450	0,3675	0,4900	0,6125	0,7350	0,8575	0,9800	1,1025	24
80	0,1231	0,2463	0,3694	0,4926	0,6157	0,7388	0,8620	0,9851	1,1083	92 20
84	0,1238	0,2476	0,3713	0,4951	0,6189	0,7427	0,8664	0,9902	1,1140	16
88	0,1244	0,2488	0,3732	0,4977	0,6221	0,7465	0,8709	0,9953	1,1197	12
92	0,1251	0,2501	0,3752	0,5002	0,6253	0,7503	0,8754	1,0004	1,1255	08
96	0,1257	0,2514	0,3771	0,5028	0,6285	0,7541	0,8798	1,0055	1,1312	04
100	0,1263	0,2527	0,3790	0,5053	0,6316	0,7580	0,8843	1,0106	1,1370	92g00

DIFFÉRENCES.

1′	0,0002	0,0003	0,0005	0,0006	0,0008	0,0009	0,0011	0,0013	0,0014	1′
2′	0,0003	0,0006	0,0009	0,0013	0,0016	0,0019	0,0022	0,0025	0,0028	2′
3′	0,0005	0,0009	0,0014	0,0019	0,0024	0,0028	0,0033	0,0038	0,0042	3′

Distance nadirale ou zénithale.	Différences de niveau correspondant aux distances horizontales.									Distance nadirale ou zénithale.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
108g00	0,1263	0,2527	0,3790	0,5053	0,6316	0,7580	0,8843	1,0106	1,1370	100
04	0,1270	0,2539	0,3809	0,5079	0,6348	0,7618	0,8888	1,0157	1,1427	96
08	0,1276	0,2552	0,3828	0,5104	0,6380	0,7656	0,8932	1,0208	1,1485	92
12	0,1282	0,2565	0,3847	0,5130	0,6412	0,7695	0,8977	1,0260	1,1542	88
16	0,1289	0,2578	0,3867	0,5155	0,6444	0,7733	0,9022	1,0311	1,1600	84
20	0,1295	0,2590	0,3886	0,5181	0,6476	0,7771	0,9066	1,0362	1,1657	91 80
24	0,1302	0,2603	0,3905	0,5206	0,6508	0,7810	0,9111	1,0413	1,1715	76
28	0,1308	0,2616	0,3924	0,5232	0,6540	0,7848	0,9156	1,0464	1,1772	72
32	0,1314	0,2629	0,3943	0,5258	0,6572	0,7886	0,9201	1,0515	1,1830	68
36	0,1321	0,2642	0,3962	0,5283	0,6604	0,7925	0,9245	1,0566	1,1887	64
40	0,1327	0,2654	0,3982	0,5309	0,6636	0,7963	0,9290	1,0617	1,1945	91 60
44	0,1334	0,2667	0,4001	0,5334	0,6668	0,8001	0,9335	1,0669	1,2002	56
48	0,1340	0,2680	0,4020	0,5360	0,6700	0,8040	0,9380	1,0720	1,2060	52
52	0,1346	0,2693	0,4039	0,5385	0,6732	0,8078	0,9425	1,0771	1,2117	48
56	0,1353	0,2706	0,4058	0,5411	0,6764	0,8117	0,9469	1,0822	1,2175	44
60	0,1359	0,2718	0,4077	0,5437	0,6796	0,8155	0,9514	1,0873	1,2232	91 40
64	0,1366	0,2731	0,4097	0,5462	0,6828	0,8193	0,9559	1,0924	1,2290	36
68	0,1372	0,2744	0,4116	0,5588	0,6860	0,8232	0,9604	1,0976	1,2348	32
72	0,1378	0,2757	0,4135	0,5513	0,6892	0,8270	0,9648	1,1027	1,2405	28
76	0,1385	0,2770	0,4154	0,5539	0,6924	0,8309	0,9693	1,1078	1,2463	24
80	0,1391	0,2782	0,4174	0,5565	0,6956	0,8347	0,9738	1,1129	1,2521	91 20
84	0,1398	0,2795	0,4193	0,5590	0,6988	0,8386	0,9783	1,1181	1,2578	16
88	0,1404	0,2808	0,4212	0,5616	0,7020	0,8424	0,9828	1,1232	1,2636	12
92	0,1410	0,2821	0,4231	0,5642	0,7052	0,8462	0,9873	1,1283	1,2694	08
96	0,1417	0,2834	0,4250	0,5667	0,7084	0,8501	0,9918	1,1334	1,2751	04
100	0,1423	0,2846	0,4270	0,5693	0,7116	0,8539	0,9962	1,1386	1,2809	91g00
109g00	0,1423	0,2846	0,4270	0,5693	0,7116	0,8539	0,9962	1,1386	1,2809	100
04	0,1430	0,2859	0,4289	0,5718	0,7148	0,8578	1,0007	1,1437	1,2867	96
08	0,1436	0,2872	0,4308	0,5744	0,7180	0,8616	1,0052	1,1488	1,2924	92
12	0,1442	0,2885	0,4327	0,5770	0,7212	0,8655	1,0097	1,1540	1,2982	88
16	0,1449	0,2898	0,4347	0,5795	0,7244	0,8693	1,0142	1,1591	1,3040	84
20	0,1455	0,2911	0,4366	0,5821	0,7276	0,8732	1,0187	1,1642	1,3098	90 80
24	0,1462	0,2923	0,4385	0,5847	0,7309	0,8770	1,0232	1,1694	1,3155	76
28	0,1468	0,2936	0,4404	0,5872	0,7341	0,8809	1,0277	1,1745	1,3213	72
32	0,1475	0,2949	0,4424	0,5898	0,7373	0,8847	1,0322	1,1796	1,3271	68
36	0,1481	0,2962	0,4443	0,5924	0,7405	0,8886	1,0367	1,1848	1,3329	64
40	0,1487	0,2975	0,4462	0,5949	0,7437	0,8924	1,0412	1,1899	1,3386	90 60
44	0,1494	0,2988	0,4481	0,5975	0,7469	0,8963	1,0457	1,1950	1,3444	56
48	0,1500	0,3000	0,4501	0,6001	0,7501	0,9001	1,0502	1,2002	1,3502	52
52	0,1507	0,3013	0,4520	0,6027	0,7533	0,9040	1,0546	1,2053	1,3560	48
56	0,1513	0,3026	0,4539	0.6052	0,7565	0,9078	1,0591	1,2105	1,3618	44
60	0,1520	0,3039	0,4559	0,6078	0,7598	0,9117	1,0637	1,2156	1,3676	90 40
64	0,1526	0,3052	0,4578	0,6104	0,7630	0,9155	1,0681	1,2207	1,3733	36
68	0,1532	0,3065	0,4597	0,6129	0,7662	0,9194	1,0727	1,2259	1,3791	32
72	0,1539	0,3078	0,4616	0,6155	0,7694	0,9233	1,0772	1,2310	1,3849	28
76	0,1545	0,3090	0,4636	0,6181	0,7726	0,9271	1,0817	1,2362	1,3907	24
70	0,1552	0,3103	0,4655	0,6207	0,7758	0,9310	1,0862	1,2413	1,3965	90 20
84	0,1558	0,3116	0,4674	0,6232	0,7790	0,9348	1,0907	1,2465	1,4023	16
88	0,1565	0,3129	0,4694	0,6258	0,7823	0,9387	1,0952	1,2516	1,4081	12
92	0,1571	0,3142	0,4713	0,6284	0,7855	0.9426	1,0997	1,2568	1,4139	08
96	0,1577	0,3155	0,4732	0,6310	0,7887	0,9464	1,1042	1,2619	1,4197	04
100	0,1587	0,3168	0,4752	0,6335	0,7919	0,9503	1,1087	1,2671	1,4255	90g00

DIFFÉRENCES.

1′	0,0002	0,0003	0,0005	0,0006	0,0008	0,0009	0,0011	0,0013	0,0014	1′
2′	0,0003	0,0006	0,0009	0,0013	0,0016	0,0019	0,0022	0,0025	0,0028	2′
3′	0,0005	0,0009	0,0014	0,0019	0,0024	0,0028	0,0033	0,0038	0,0042	3′

Distance nadirale ou zénithale.	Différences de niveau correspondant aux distances horizontales.									Distance nadirale ou zénithale.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
110g00	0,1584	0,3168	0,4752	0,6335	0,7919	0.9503	1,1087	1,2671	1,4255	100
04	0,1590	0,3181	0,4771	0,6361	0,7951	0,9542	1,1132	1,2722	1,4313	96
08	0,1597	0,3193	0,4790	0,6387	0,7984	0,9580	1,1177	1,2774	1,4371	92
12	0,1603	0,3206	0,4810	0.6413	0,8016	0,9619	1,1222	1,2825	1,4429	88
16	0,1610	0,3219	0,4829	0,6438	0,8048	0,9658	1,1267	1,2877	1,4487	84
20	0,1616	0,3232	0,4848	0,6464	0,8080	0,9696	1,1312	1,2929	1,4545	89 80
24	0,1623	0,3245	0,4868	0,6490	0,8113	0,9735	1,1358	1,2980	1,4603	76
28	0,1629	0,3258	0,4887	0,6516	0,8145	0,9774	1,1403	1,3032	1.4661	72
32	0,1635	0,3271	0,4906	0,6542	0,8177	0,9813	1,1448	1,3083	1,4719	68
36	0,1642	0,3284	0,4926	0,6567	0,8209	0,9851	1,1493	1,3135	1,4777	64
40	0,1648	0,3297	0,4945	0,6593	0,8242	0,9890	1,1538	1,3186	1,4835	89 60
44	0,1655	0,3310	0,4964	0,6619	0,8274	0,9929	1,1583	1,3258	1,4893	56
48	0,1661	0,3322	0,4984	0,6645	0,8306	0,9967	1,1629	1,3290	1,4951	52
52	0,1668	0,3335	0,5003	0,6671	0,8338	1,0006	1,1674	1,3341	1,5009	48
56	0,1674	0,3348	0,5022	0,6697	0,8371	1,0045	1,1719	1,3393	1,5067	44
60	0,1681	0,3361	0,5042	0,6722	0,8403	1,0084	1,1764	1,3445	1,5125	89 40
64	0,1687	0,3374	0,5061	0,6748	0,8435	1,0122	1,1809	1,3496	1,5184	36
68	0,1694	0,3387	0,5081	0,6774	0.8468	1,0161	1,1855	1,3548	1,5242	32
72	0,1700	0,3400	0,5100	0,6800	0,8500	1,0200	1,1900	1,3600	1,5300	28
76	0,1706	0,3413	0,5119	0,6826	0,8532	1,0239	1,1945	1,3652	1,5358	24
80	0,1713	0,3426	0,5139	0.6852	0,8565	1,0278	1,1991	1,3703	1,5416	89 20
84	0,1719	0,3439	0,5158	0,6878	0,8597	1,0316	1,2036	1,3755	1,5475	16
88	0,1726	0,3452	0,5178	0,6904	0,8629	1,0355	1,2081	1,3807	1,5533	12
92	0,1732	0,3465	0,5197	0,6929	0,8662	1,0394	1,2126	1,3859	1,5591	08
96	0,1739	0,3478	0,5216	0,6955	0,8694	1,0433	1,2172	1,3910	1,5649	04
100	0,1745	0,3491	0,5236	0,6981	0,8726	1,0472	1,2217	1,3962	1,5708	89g00
111gC0	0,1745	0,3491	0,5236	0,6781	0,8729	1,0472	1,2217	1,3962	1,5708	100
04	0,1752	0,3503	0,5255	0,7007	0,8759	1,0510	1,2262	1,4014	1,5766	96
08	0,1758	0,3517	0,5275	0,7033	0,8791	1,0550	1,2308	1,4066	1,5824	92
12	0,1765	0,3529	0,5294	0,7059	0,8824	1,0588	1,2353	1,4118	1,5882	88
16	0,1771	0,3542	0,5314	0,7085	0,8856	1,0627	1.2398	1,4170	1,5941	84
20	0,1778	0,3555	0,5333	0,7111	0,8888	1,0666	1,2444	1,4221	1,5999	88 80
24	0,1784	0,3568	0,5352	0,7137	0,8921	1,0705	1,2489	1,4273	1,6057	76
28	0,1791	0,3581	0,5372	0,7163	0,8953	1,0744	1,2535	1,4325	1,6116	72
32	0,1797	0,3594	0,5391	0,7189	0,8986	1,0783	1,2580	1,4377	1,6174	68
36	0,1804	0.3607	0,5411	0,7214	0,9018	1,0822	1,2625	1,4429	1,6232	64
40	0,1810	0,3620	0,5430	0,7240	0,9050	1,0861	1,2671	1,4481	1,6291	88 60
44	0,1817	0,3633	0,5450	0,7266	0,9083	1,0900	1,2716	1,4533	1,6349	56
48	0,1823	0,3646	0,5469	0,7292	0,9115	1,0938	1,2762	1,4585	1,6408	52
52	0,1830	0,3659	0,5489	0,7318	0,9148	1.0977	1,2807	1,4637	1,6466	48
56	0,1836	0.3672	0,5508	0,7344	0,9180	1,1016	1,2852	1,4689	1,6525	44
60	0,1843	0,3685	0,5528	0,7370	0,9213	1,1055	1,2898	1,4740	1,6583	88 40
64	0,1849	0,3698	0,5547	0,7396	0,9245	1,1094	1,2943	1.4792	1,6612	36
68	0,1856	0,3711	0,5567	0,7422	0,9278	1,1133	1.2989	1,4844	1,6700	32
72	0,1862	0,3724	0,5586	0,7448	0,9310	1,1172	1,3034	1,4896	1,6759	28
76	0,1869	0,3737	0,5606	0,7474	0,9343	1,1211	1,3080	1,4949	1,6817	24
80	0,1875	0,3750	0,5625	0,7500	0,9375	1,1250	1,3126	1,5001	1,6876	88 20
84	0,1882	0,3763	0,5645	0,7526	0,9408	1,1289	1,3171	1,5053	1,6934	16
88	0,1888	0,3776	0,5664	0,7552	0,9410	1,1328	1,3217	1,5105	1,6993	12
92	0,1895	0,3789	0,5684	0,7578	0,9473	1,1367	1,3262	1,5157	1,7051	08
96	0,1901	0,3802	0,5703	0,7604	0,9505	1,1406	1,3308	1,5209	1,7110	04
100	0,1908	0,3815	0,5723	0,7630	0.9538	1,1446	1,3353	1,5261	1,7168	88g00

DIFFÉRENCES.

1′	0,0002	0,0003	0,0005	0.0006	0,0008	0,0009	0,0011	0,0013	0,0014	1′
2′	0,0003	0,0006	0,0009	0,0013	0,0016	0,0019	0,0022	0,0025	0,0028	2′
3′	0,0005	0,0009	0,0014	0,0019	0,0024	0,0028	0,0033	0.00·8	0,0042	3′

Distance nadirale ou zénithale.	Différences de niveau correspondant aux distances horizontales.									Distance nadirale ou zénithale.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
112g00	0,1908	0.3815	0.5723	0.7630	0.9538	1.1446	1.3353	1,5261	1.7168	100
04	0.1914	0.3828	0.5742	0.7656	0,9571	1,1485	1,3399	1,5313	1.7227	96
08	0.1921	0.3841	0.5762	0,7683	0,9603	1,1524	1.3444	1.5365	1,7286	92
12	0.1927	0.3854	0.5781	0.7709	0.9636	1,1563	1.3490	1,5417	1.7344	88
16	0,1934	0.3867	0.5801	0.7735	0,9668	1,1602	1,3536	1,5469	1,7403	84
20	0.1940	0.3880	0,5821	0.7761	0.9701	1,1641	1.3581	1.5521	1,7462	87 80
24	0.1947	0.3893	0.5840	0.7787	0.9734	1.1680	1,3627	1.5574	1,7520	76
28	0,1953	0.3906	0.5860	0.7813	0,9766	1.1719	1.3672	1,5626	1.7579	72
32	0.1960	0.3920	0.5879	0,7839	0.9799	1,1759	1.3718	1.5678	1,7638	68
36	0,1966	0.3933	0,5899	0,7865	0.9831	1.1798	1.3764	1,5730	1,7696	64
40	0.1973	0.3946	0,5918	0.7891	0,9864	1.1837	1,3810	1.5782	1,7755	87 60
44	0,1979	0.3959	0.5938	0.7917	0.9897	1.1876	1.3855	1,5835	1,7814	56
48	0,1986	0.3972	0.5958	0.7943	0.9929	1,1915	1,3901	1,5887	1.7873	52
52	0,1992	0,3985	0.5977	0.7970	0.9962	1.1954	1.3947	1.5939	1.7932	48
56	0,1999	0,3998	0.5997	0,7996	0,9995	1,1994	1,3993	1,5992	1.7990	44
60	0.2005	0,4011	0,6016	0.8022	1.0027	1,2033	1,4038	1,6044	1,8049	87 40
64	0,2012	0,4024	0.6036	0.8048	1,0060	1.2072	1.4084	1,6096	1,8108	36
68	0.2019	0.4037	0.6056	0.8074	1,0093	1.2111	1,4130	1.6148	1,8167	32
72	0.2025	0.4050	0.6075	0.8100	1.0125	1,2150	1.4175	1.6201	1,8226	28
76	0,2032	0,4063	0.6095	0.8126	1,0158	1.2190	1,4221	1,6253	1,8285	24
80	0.2038	0.4076	0.6114	0,8153	1.0191	1.2229	1.4267	1,6305	1,8343	87 20
84	0.2045	0.4089	0.6134	0.8179	1,0224	1,2268	1.4313	1,6358	1,8402	16
88	0.2051	0.4103	0.6154	0,8205	1.0256	1,2308	1.4359	1,6410	1,8461	12
92	0.2058	0.4116	0,6173	0.8231	1,0289	1.2347	1,4495	1,6462	1.8520	08
96	0.2064	0,4129	0,6293	0.8257	1,0322	1,2386	1.4450	1,6515	1.8579	04
100	0,2071	0,4142	0,6213	0.8284	1,0355	1,2425	1,4496	1.6567	1,8638	87g00
113g00	0.2071	0.4142	0.6213	0,8284	1,0355	1.2425	1.4496	1.6567	1,8638	100
04	0,2077	0,4155	0,6232	0,8310	1.0387	1.2465	1.4542	1.6620	1.8697	96
08	0.2084	0.4168	0.6252	0,8336	1,0420	1.2504	1.4588	1.6672	1,8756	92
12	0.2091	0,4181	0.6272	0.8362	1,0453	1.2543	1.4634	1,6724	1,8815	88
16	0.2097	0.4194	0,6291	0,8388	1,0486	1.2583	1.4680	1,6777	1.8874	84
20	0,2104	0.4207	0,6311	0,8415	1.0518	1.2622	1,4726	1.6829	1.8933	86 80
24	0.2110	0.4220	0,6331	0.8441	1.0551	1,2661	1.4772	1,6882	1,8992	76
28	0,2117	0,4234	0.6350	0,8467	1.0584	1,2701	1.4818	1,6934	1,9051	72
32	0.2123	0,4247	0.6370	0.8494	1,0617	1.2740	1,4864	1.6987	1.9110	68
36	0,2130	0,4260	0,6390	0.8520	1,0650	1,2780	1,4910	1,7040	1.9170	64
40	0,2137	0.4273	0.6410	0,8546	1,0683	1.2819	1.4956	1.7092	1.9229	86 60
44	0.2143	0,4286	0,6429	0.8572	1.0715	1.2859	1,5002	1,7145	1.9288	56
48	0,2150	0.4299	0.6449	0.8599	1.0748	1.2898	1.5048	1.7197	1,9347	52
52	0.2156	0,4313	0.6469	0.8625	1.0781	1.2938	1,5094	1.7250	1.9406	48
56	0,2163	0,4326	0,6488	0,8651	1,0814	1.2977	1,5140	1,7303	1,9465	44
60	0,2169	0.4339	0,6508	0.8678	1.0847	1,3016	1,5186	1.7355	1.9525	86 40
64	0.2176	0.4352	0,6528	0.8704	1,0880	1.3056	1,5232	1,7408	1,9584	36
68	0,2183	0,4365	0,6548	0,8730	1.0913	1.3095	1,5278	1.7460	1.9643	32
72	0.2189	0.4378	0.6567	0.8756	1.0946	1.3135	1.5324	1.7513	1.9702	28
76	0.2196	0.4391	0,6587	0.8783	1.0979	1,3174	1,5370	1,7566	1.9761	24
80	0,2202	0.4405	0.6607	0.8809	1,1012	1.3214	1.5416	1,7619	1,9821	86 20
84	0.2209	0.4418	0,6627	0.8835	1,1044	1,3253	1.5462	1.7671	1.9880	16
88	0.2215	0,4431	0,6646	0,8862	1,1077	1.3293	1,5508	1.7724	1,9939	12
92	0.2222	0.4444	0.6666	0.8888	1.1110	1.3332	1.5555	1.7777	1.9999	08
96	0,2229	0,4457	0.6686	0,8915	1,1143	1,3372	1,5601	1.7830	2.0058	04
100	0,2235	0,4471	0,6706	0,8941	1.1176	1,3412	1,5647	1.7882	2,0117	86g00

DIFFÉRENCES.

1'	0,0002	0.0003	0.0005	0,0006	0.0008	0,0009	0,0011	0,0013	0.0014	1'
2'	0.0003	0.0006	0.0009	0,0013	0.0016	0.0019	0,0022	0,0025	0,0028	2'
2'	0,0005	0.0009	0.0014	0,0019	0.0024	0.0028	0,0033	0,0038	0,0042	3'

DEUXIÈME PARTIE.

TABLE DES MATIÈRES.

CHAPITRE II.

NIVELLEMENT.

CHAPITRE III.

NIVELLEMENT BAROMÉTRIQUE.

CHAPITRE IV.

TOPOGRAPHIE EXPÉDIÉE.

PROGRAMME DU LEVÉ A LA BOUSSOLE-ÉCLIMÈTRE.



COURS

DE

TOPOGRAPHIE

PAR

N. STROOBANTS

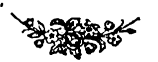
Capitaine-Commandant d'Infanterie

Adjoint d'État-major; Professeur à l'École militaire.

TROISIÈME

QUATRIÈME & CINQUIÈME PARTIES

3me ÉDITION



BRUXELLES

Imprimerie Gustave Deprez, chaussée de Haecht, 88

1895

Imprimerie Gustave DEPREZ, chaussée de Haecht, 88, Schaerbeek.

TROISIÈME PARTIE

REPRODUCTION DES CARTES

(CARTOGRAPHIE)

L'exécution de la carte d'un pays comporte trois genres de travaux :

1° Les opérations géodésiques qui déterminent la position absolue des principaux points du pays sur le globe et rapportent ces points sur un plan ou carte, au moyen de leurs coordonnées géographiques et par un système de développement particulier qui altère le moins possible les relations de distances qui existent entre eux;

2° Les opérations topographiques qui, s'appuyant sur le *canevas trigonométrique* établi par les opérations précédentes, ont pour but de représenter, sur un plan, tous les détails répandus sur la surface du sol et l'expression du relief du terrain;

3° Les travaux qui ont pour objet la reproduction ou impression des plans ou *planchettes-minutes* à un nombre indéfini d'exemplaires (1).

La 1re Partie donne un aperçu sommaire des opérations géodésiques qui ont servi de base à la construction de la carte topographique de Belgique.

---

(1) A l'École militaire, nous consacrons à peine une demi-leçon à la *Reproduction des cartes* : le cours de *chimie appliquée* et le *cours de photographie* s'occupant du même sujet. Nos avons cru utile d'ajouter ici quelques développements et de répéter des choses que nous avons dites dans les deux premières parties, de manière à présenter au lecteur étranger à l'École militaire un *petit aperçu général* sur les travaux de notre *Institut*



La 2e Partie s'étend longuement sur les méthodes et les instruments employés dans les opérations topographiques.

Il nous reste à faire connaître brièvement les travaux de reproduction des cartes et tout particulièrement ceux qui ont été employés ou qui sont encore en usage à l'Institut cartographique militaire de Belgique.

Nous pouvons subdiviser ces derniers en quatre systèmes : la gravure, la chromolithographie, la zincographie et la topogravure.

Lorsqu'il fut arrêté, en 1856, que le levé de la carte topographique serait fait à l'échelle du 20.000e, et qu'on eut pris toutes les dispositions pour assurer son exécution, on se préoccupa des moyens à employer pour la reproduire.

---

cartographique militaire. Monsieur le lieutenant adjoint d'état-major Delobbe, un de nos répétiteurs, avait rédigé cet aperçu : nous avons adopté ses notes, qui nous ont paru fort bien coordonnées.

Voici les ouvrages auxquels nous avons fait des emprunts et auxquels nous renvoyons le lecteur désireux d'avoir plus de renseignements :

Reproduction des cartes au moyen de la photographie. Capitaine Hannot, 1874.

Cours de reproductions industrielles. Léon Vidal, Paris 1879.

Rapport sur la cartographie et la topographie à l'Exposition de Paris. Major Adan, 1878.

Notice sur les travaux de la reproduction de la carte de Belgique au 20.000e et au 40.000e. Capitaine Hannot, 1881.

Notice sur les cartes agricoles de Belgique. Major Hennequin, 1885.

Note sur les cartes de service des gardes généraux des Eaux et Forêts. Lieutenant-colonel Hennequin, 1887.

Notice sur les cartes, documents et objets exposés au Grand Concours international de Bruxelles en 1888. Lieutenant-colonel Hennequin, 1888.

Note sur la participation de l'Institut cartographique militaire à l'Exposition internationale du Livre à Anvers en 1890. Colonel Hennequin, 1890.

Etude historique sur l'exécution de la carte de Ferraris et l'évolution de la cartographie topographique en Belgique. Colonel Hennequin, 1891.

Notice sur les cartes, documents et objets exposés par l'Institut cartographique militaire à l'Exposition d'Anvers en 1894. Colonel Hennequin, 1894.

La gravure fut adoptée en principe comme moyen de reproduction.

On pouvait avoir recours à deux genres de gravure : la gravure sur cuivre et la gravure sur pierre.

Les circonstances imposèrent, en quelque sorte, le choix de la gravure sur pierre. La gravure sur cuivre, généralement employée à l'étranger pour la publication des cartes, était très peu pratiquée en Belgique et, malgré les efforts du Gouvernement pour répandre ce genre de gravure, on ne pouvait compter réunir le personnel nécessaire pour un travail aussi important que celui qu'on voulait entreprendre. La gravure sur pierre, au contraire, quoique d'origine assez récente, avait pris beaucoup d'extension dans notre pays. La gravure sur pierre paraissait du reste éminemment propre à la reproduction des cartes, car, si elle communique aux dessins une espèce de dureté qui empêche de l'employer dans tous les genres de travaux, elle possède une netteté de trait qui constitue une qualité précieuse pour la cartographie.

D'ailleurs la gravure sur pierre avait déjà été employée pour la cartographie topographique par *Ph. Van der Maelen*, qui reproduisit par ce procédé sa belle carte à l'échelle du 80.000ᵉ.

Des essais furent faits de cette gravure sur pierre : on entreprit au Dépôt de la guerre la reproduction au 20.000ᵉ des 20 planchettes constituant le levé topographique des environs du Camp de Beverloo. L'expérience fut concluante et la gravure sur pierre fut définitivement adoptée.

« L'emploi de la gravure sur pierre, dit le colonel Hennequin, a constitué un très grand progrès, en raison de la réduction qui en est résultée quant au prix de revient et à la durée d'exécution des travaux, réduction tellement considérable qu'il convient toujours de préférer la gravure sur pierre à la gravure sur cuivre, sauf dans le cas d'une publication à entreprendre sans regarder à la dépense. »

La carte, levée au 20.000ᵉ, devait comprendre 437 planchettes et la reproduction de ces planchettes par le procédé de gravure adopté devait demander beaucoup de temps et coûter

très cher : on recula devant la dépense (1), on décida de changer l'échelle de la carte définitive et d'exécuter celle-ci à l'échelle de moitié ou du 40.000e.

On pouvait aisément, et même avantageusement, changer l'échelle de reproduction, sans apporter des modifications dans l'exécution des travaux sur le terrain, grâce à une nouvelle découverte, la photographie, qui permettait de réduire une carte à une échelle plus petite avec une exactitude mathématique.

La carte au 40.000e, gravée sur pierre, constitue donc le travail fondamental du *Dépôt de la guerre*, aujourd'hui *Institut cartographique militaire*. La carte au 40.000e est notre carte militaire officielle.

Les premiers crédits affectés à l'exécution de la carte topographique furent votés en 1859, la gravure commença en 1860; la 1re livraison parut en 1866 et la dernière en 1883.

« La pierre gravée ne peut fournir qu'un nombre assez restreint d'épreuves au tirage; sa surface s'usant assez rapidement par l'encrage à la pelote et par la pression, les incisions légères de la gravure disparaissent et, avec elles, toute la finesse et le moelleux du trait; on obvie facilement à cet inconvénient en faisant des reports sur pierre ou sur zinc, de sorte que, par ce mode de procéder, notre carte gravée peut se conserver intacte indéfiniment. » Major ADAN.

On obtint ainsi ce que l'on appela des *transports de la gravure sur pierre ou sur zinc.* Nous entrerons dans des détails plus loin.

La carte au 40.000e ne pouvait suffire, car, tout en reconnaissant les services immenses qu'elle devait rendre, on ne pouvait se dissimuler que tous les avantages attachés à la publication des planchettes-minutes n'étaient pas réalisés. Celles-ci, levées à l'échelle du 20.000e et exprimant le relief

---

(1) Pour la reproduction de la carte au 40.000e, la durée moyenne de la gravure d'une pierre est de 4 années et son prix de revient est estimé à environ 10,000 francs. Major ADAN.

au moyen de courbes équidistantes de 1 mètre, donnaient une représentation du terrain beaucoup plus exacte et plus complète, surtout dans les parties basses et les parties peu accidentées du pays, qui comprennent ensemble à peu près les deux tiers de sa surface totale. Il fut décrété, en 1865, que les planchettes-minutes seraient reproduites à l'échelle même du levé, et, pour obtenir une image en tout semblable à celles-ci, on adopta le système d'*impression chromolithographique*. La publication de cette carte, commencée en 1866, ne fut terminée qu'en 1880.

Pour la reproduction de la carte au 20.000e, on adopta le même procédé que pour la carte au 40.000e, on réduisit, par la photographie, des dessins établis à une échelle double : il fallut donc nécessairement, au préalable, faire un agrandissement des planchettes-minutes à l'échelle du 10.000e.

Le travail d'impression de la carte chromolithographiée était en pleine activité quand l'Institut cartographique vit la possibilité, en utilisant les documents complétés qui servaient à la publication de cette carte, de produire une carte en noir à la même échelle, dans des conditions peu onéreuses pour l'État, en remplaçant les pierres qui servaient aux impressions par des plaques de zinc : il fut arrêté que la carte au 20.000e serait reproduite en noir par la *photozincographie*.

L'exécution de la carte au 20.000e en noir, commencée en 1872, fut achevée en 1881.

Dans le but d'offrir au public le plus rapidement possible toutes les planchettes au 20.000e que comporte notre territoire, il fut décidé que l'exécution en noir de cette carte serait faite en se dirigeant du sud-est vers le nord-ouest, c'est-à-dire en sens inverse de la marche que l'on suivait pour la carte chromolithographiée, que l'on exécutait donc du nord-ouest vers le sud-est.

En 1880, l'Institut cartographique militaire commença la publication d'une 2e édition en noir de la carte au 20.000e : les planchettes photozincographiées ne donnant pas toujours des résultats parfaits, il avait étudié et expérimenté la *gravure photogalvanique* qu'il adopta ; ce mode de reproduction pré-

sentait à peu près tous les avantages de la gravure sur cuivre.

La publication de la 2e édition du 20.000e en noir se serait achevée par ce procédé, s'il n'était né, en 1885, un nouveau mode de reproduction qui allait permettre d'obtenir des épreuves presqu'aussi belles et presqu'aussi nettes que celles que donnait la gravure, une méthode d'impression à la fois peu coûteuse et rapide et qui, de plus, permettait la reproduction de la carte en couleurs. Le nouveau procédé était la *topogravure*, imaginée par le colonel DE LA NOË, du service géographique de l'armée française.

Depuis 1886, l'Institut cartographique militaire n'emploie plus que la topogravure pour l'impression de la carte au 20.000e. A la date de ce jour 278 planchettes topogravées ont été livrées à la publicité.

Carte au 40.000e.

Gravure. — Le levé de la carte topographique était exécuté au 20.000e, comme nous le savons : avant de songer à la reproduction, il était nécessaire de réduire les dessins des planchettes-minutes à l'échelle du 40.000e. On eut recours à la photographie. Des essais concluants avaient été faits à l'Institut cartographique militaire au moyen d'appareils photographiques de réduction construits à cet effet et permettant de reproduire les planchettes-minutes à l'échelle demandée avec une exactitude mathématique. Sans entrer dans des détails trop techniques, voici la marche suivie pour la réduction des planchettes au 40.000e et la reproduction par la gravure sur pierre.

Opérations photographiques. — La planchette-minute étant dessinée à l'encre, on l'envoyait à l'atelier photographique pour y être réduite. Les opérations photographiques consistaient à obtenir un cliché de 201 sur 251 millimètres et à tirer ensuite une épreuve sur papier mince aux dimensions exactes de 20 centimètres de largeur sur 25 de hauteur. L'image de la planchette-minute devant, pour servir au graveur sur pierre, être renversée, on exposait les glaces sensibles dans la chambre noire en les retournant dans le chassis à exposition, c'est-à-dire

que le côté collodionné de la plaque était impressionné au travers de la plaque de verre qui le porte. Le cliché obtenu, on en tirait une épreuve positive. Les réductions au 40.000e des huit planchettes-minutes, qui constituent une feuille de gravure, étant exécutées, on les remettait au graveur.

Opérations de la gravure. — Sur une pierre lithographique (1) à grain serré (ordinairement de couleur grise) de 1 mètre de long sur 70 centimètres de large, parfaitement poncée pour obtenir une surface unie, le graveur étend, avec une éponge, une solution aqueuse de gomme arabique légèrement acidulée, solution qu'il enlève ensuite au moyen d'un linge mouillé. Après cette opération, il reste encore assez de gomme pour empêcher la pierre d'être pénétrée par les corps gras.

« Pour achever la préparation de la pierre, le graveur en enduit la surface de poudre de sanguine à l'aide d'un léger frottement. Le but de cette opération est de donner à la pierre une teinte rougeâtre faisant contraste avec les traits noirs au crayon et les traits gravés de la nuance de la pierre.

» Le graveur peut alors passer au décalquage des traits que doit reproduire la gravure.

» Sur la pierre, on fixe, par ses bords, une feuille de papier mince, recouverte de mine de plomb ou de noir de fumée et en contact avec la pierre par son côté noirci. Tous les traits que l'on tracera ensuite sur la feuille de papier, en appuyant avec une pointe sèche, se trouveront marqués sur la pierre.

» La pierre étant dans cet état, le graveur y applique un instrument rectangulaire en cuivre, percé à ses angles de trous formant les sommets d'un rectangle parfait de 80 centimètres de largeur sur 50 centimètres de hauteur; au moyen d'une pointe fine, il marque ces sommets sur le papier. Il

---

(1) Les pierres lithographiques employées pour les travaux de gravure et pour l'impression des cartes sont des calcaires du terrain liasique, provenant presqu'exclusivement des carrières de Solnhofen (90 kilomètres N.-N.-O. de Munich) et de quelques localités voisines.



trace ensuite le rectangle et le divise en huit autres de 20 centimètres de largeur sur 25 centimètres de hauteur. Le grand rectangle et les huit petits se trouvent ainsi décalqués sur la pierre. Ces huit derniers lui indiquent les places que doivent occuper les réductions des huit cartes minutes. Il n'y a plus maintenant qu'à accoter celles-ci dans les rectangles tracés, en les plaçant dans l'ordre qu'elles doivent y occuper et à procéder à leur décalquage successif en repassant avec une fine pointe sèche les traits que l'on veut voir reproduits.

» Les réductions des planches étant décalquées, le papier enduit de noir est enlevé.

» Le véritable travail de la gravure commence alors. Il consiste à attaquer la pierre avec des pointes d'acier, taillées sous des angles convenables et aiguisées sur la meule et la pierre du Levant et qui permettent au graveur d'exécuter toutes les espèces de traits. Il grave ainsi successivement les traits du dessin, les courbes figurant le relief du terrain, les écritures, d'après les indications qui lui sont fournies et en observant d'employer les caractères affectés aux différents noms à écrire, les côtes de niveau, les prairies, bois, bruyères, etc., en se conformant au tableau des signes conventionnels adoptés pour exprimer ces choses au moyen de la gravure; enfin, le cadre, le titre et l'échelle. » Capitaine HANNOT, 1881.

La gravure étant terminée on passe à l'impression.

Opérations de l'impression. — L'imprimeur recouvre d'abord la pierre d'huile de lin, qu'il fait pénétrer dans les tailles; il lave ensuite la pierre, puis, l'ayant encrée au tampon, il en tire des épreuves.

Transport de la gravure sur pierre. — Le procédé de la reproduction par la gravure présentait deux inconvénients :

1° Pour encrer les pierres lithographiques, avant de procéder au tirage d'une épreuve, l'imprimeur doit se servir d'un tampon au moyen duquel il force l'encre à pénétrer dans le creux des traits de la gravure : ce mode d'encrage demande un temps considérable, et, de plus, altère la gravure, quand on tire un grand nombre d'épreuves;

2° Le papier destiné à fournir l'épreuve devant, pour l'impression, être légèrement humide afin d'enlever plus facilement l'encre et de la mieux retenir, il se produit, quand le papier sèche, un certain rétrécissement : si on le mouille de nouveau pour l'impression de nouvelles teintes, comme nous le verrons pour la carte chromolithographiée, son extension et son retrait ne se produisent pas toujours dans les mêmes conditions que primitivement.

Pour éviter ces deux inconvénients, on se sert d'une autre méthode de reproduction dite « *transport* » de la gravure dont voici l'exposé en quelques mots :

Sur une feuille de papier de Chine, on imprime d'abord une bonne épreuve de la pierre gravée, au moyen d'une encre spéciale appelée encre de *transport* ou de *report*; on applique alors cette épreuve sur une pierre lithographique, puis on passe à la presse et l'on obtient ainsi le transport de l'épreuve sur la pierre. La pierre ainsi préparée peut dès lors reproduire fidèlement, mais à l'envers, les traits de l'épreuve primitive, tout comme du papier buvard conserve la trace de caractères fraîchement écrits.

Pour rendre la pierre apte à fournir des épreuves d'impression, on verse sur celles-ci une solution aqueuse de gomme arabique et d'acide azotique : les parties atteintes par cette solution deviennent inaptes à recevoir l'encre d'impression et ces mêmes parties subissent une dénivellation, très faible d'ailleurs, par rapport aux traits que protège momentanément l'encre de transport et qui ressortent par conséquent en relief. Un transport ainsi constitué peut être encré au moyen d'un simple rouleau, que l'imprimeur promène à la surface de la pierre et qui permet de répartir sur les seuls traits en relief l'encre dont il a été préalablement chargé. Le relief des traits permet l'emploi du papier sec : les dimensions du papier ne sont donc pas altérées et l'on peut utiliser ce procédé pour l'impression de la carte en couleurs.

Les transports de la gravure offrent le grand avantage de pouvoir être mis facilement au courant, en effectuant à la plume des corrections sur la pierre, tandis que sur la pierre

de gravure le travail des corrections est long, coûteux, difficile et exige un excellent graveur.

Les épreuves obtenues par le procédé de transport que nous venons de décrire succinctement n'ont ni la netteté, ni la vigueur de celles qui sont tirées directement de la gravure, mais la diminution de beauté des épreuves de transport est largement compensée par la mise à jour continuelle et par la rapidité de l'impression. La rapidité du tirage des épreuves de transport est à celle du tirage des épreuves de gravure comme 3 est à 1. (Voyez 1re Partie, p. 42.)

Transport de gravure sur zinc (1). — Le procédé de transport de la gravure sur zinc est identique à celui que nous venons de décrire, mais il présente sur celui-ci certains avantages : 1° Les plaques de zinc coûtent 70 fois moins et pèsent 90 fois moins que les pierres lithographiques; 2° Le volume de la plaque étant considérablement moindre que celui de la pierre, la facilité d'emmagasinage est beaucoup plus grande; 3° Les transports sur zinc sont plus nets et plus beaux que les transports sur pierre.

Comme contre-partie de ces avantages, les corrections sont plus difficiles à exécuter sur le zinc que sur la pierre et l'impression des plaques exige, de la part des imprimeurs, un soin particulier et une attention soutenue pendant le tirage.

« C'est en 1885, et en étudiant le mode d'impression — non encore décidé à cette époque — de la carte géologique à l'échelle du 40.000e, que l'Institut cartographique militaire est entré dans la voie des impressions sur zinc mince. » Colonel HENNEQUIN.

Edition en couleurs. — Grâce à la généralisation des impressions sur zinc, l'Institut cartographique militaire s'est trouvé en mesure de publier une édition en couleurs de la carte

(1) « Le zinc employé pour nos travaux de reproduction doit être de toute première qualité ; celui fourni par les usines de la Vieille-Montagne est le meilleur. » Major ADAN.



au 40.000^e, dont chaque feuille exige quatre tirages successifs au lieu d'un seul tirage, savoir : un tirage pour la carte en noir, un deuxième tirage pour l'impression en rouge (routes et chemins pavés ou empierrés), un troisième tirage pour les impressions en bleu (eaux), un quatrième tirage enfin pour les impressions en gris clair (limites de communes). La teinte gris-violet, qui sert à teinter les signes conventionnels représentant les principaux clochers, n'exige pas de tirage spécial, elle est obtenue par la superposition des couleurs rouge et bleue.

« Il est à remarquer que les épreuves de la carte au 40.000^e en couleurs présentent, sur les épreuves de la même carte en noir, le double avantage d'une lecture plus facile et d'une mise à jour complète, spécialement en ce qui concerne les bois qui ont fait l'objet d'un travail lithographique particulier. » Colonel HENNEQUIN.

Les détails que nous donnerons plus loin sur la carte chromolithographiée et la carte topogravée en couleurs feront comprendre le procédé de reproduction de l'édition au 40.000^e en couleurs.

Carte au 20.000^e.

Carte chromolithographiée. — Les planchettes-minutes, exécutées par les officiers chargés de les dresser, sont impropres à être reproduites directement par la photographie parce que :

1° Le dessin n'en est pas suffisamment soigné;

2° Le papier, par suite du travail en plein air, est sali et jauni;

3° Les différentes couleurs, dont l'emploi est indispensable à la clarté de la planchette-minute, ne se prêtent pas toutes également à leur reproduction par la photographie.

Il fallait donc d'abord dessiner de nouveau les planchettes-minutes, et les dessiner dans des conditions telles qu'on put obtenir, au moyen du nouveau dessin, un bon cliché photographique.

« L'expérience ayant montré qu'un dessin médiocre, s'il est bien accentué dans tous ses détails et exécuté avec une encre très noire, peut, étant réduit par la photographie, fournir d'excellents résultats, on se décida à redessiner les planchettes (qui, de toute manière, devaient être refaites), en les reproduisant à une échelle double.

» On pouvait dès lors employer à ce travail de moins bons dessinateurs.

» Il fallait, pour redessiner les planchettes au 10.000^e, les agrandir préalablement à cette échelle afin d'en obtenir le calque. Ce fut encore la photographie qui exécuta ce travail. »

L'épreuve au 10.000^e, obtenue par la photographie, et qui n'était généralement pas belle mais exacte, était ensuite décalquée au crayon sur du papier blanc, et enfin passée soigneusement à l'encre bien noire. Le nouveau dessin terminé, l'atelier de photographie le réduisait, dans d'excellentes conditions, à l'échelle du 20.000^e. Le cliché négatif, obtenu par le photographe, était alors posé sur une pierre bien unie dont la surface avait été recouverte dans l'obscurité d'une mince couche d'un mélange de bichromate de potasse et de gélatine, puis exposé à la lumière. Comme il fallait obtenir sur la pierre l'image à l'envers de la carte, on devait avoir soin de placer le côté collodionné du cliché en contact avec la partie sensibilisée de la pierre.

Les rayons lumineux, traversant le cliché aux endroits correspondant aux traits du dessin, rendaient insolubles sur la pierre les parties de la couche sensible qu'ils atteignaient et y fixaient, par conséquent, un dessin en tout égal à celui du négatif. Le cliché était alors enlevé dans un endroit obscur et l'on pouvait apercevoir à la surface de la couche de gélatine un dessin très légèrement marqué en brun sur fond jaune. On appliquait ensuite, à l'aide d'un rouleau, sur la surface de la pierre, un mélange d'encre lithographique ordinaire et d'encre grasse, ceci dans l'unique but de bien se rendre compte de ce qui allait se passer dans l'opération du lavage dont nous allons parler. On lavait enfin la pierre avec une eau tiède amidonnée et les parties de la couche de

gélatine qui n'avaient pas reçu l'action des rayons lumineux se dissolvaient par ce lavage, tous les traits du dessin apparaissaient sur la pierre, formés par de minces filets de gélatine légèrement couverts d'encre. Pour augmenter l'adhérence de la gélatine sur la pierre, celle-ci était placée pendant un certain temps dans une étuve dont la température était maintenue à 50 degrés : par l'action de la chaleur, la gélatine se soudait en quelque sorte à la pierre en se logeant dans les pores de celle-ci.

Après cette opération, la pierre était prête pour le tirage des épreuves par le mode d'impression usité en lithographie.

Le succès de ce procédé demandait deux conditions :

1° Un contact parfait entre la pierre et le négatif de la carte à reproduire : on l'obtenait en n'employant pour les négatifs que des glaces de premier choix et bien planes;

2° La production de clichés photographiques présentant un contraste suffisant entre les parties transparentes et les parties opaques : on l'obtenait en ne photographiant que des dessins parfaits, exécutés comme nous l'avons dit plus haut.

L'avantage de ce procédé de reproduction des cartes, c'est que l'opération de la mise sur pierre d'un cliché photographique peut se répéter autant de fois que l'on veut, sans la moindre différence dans les dimensions des diverses images obtenues.

Ce résultat est surtout précieux pour la reproduction chromolithographique des cartes qui nécessite plusieurs tirages successifs, c'est-à-dire un tirage à part pour chacune des couleurs dont il est fait usage dans l'impression.

Pour obtenir une carte chromolithographiée, on fait autant de pierres, au moyen du cliché négatif, que la carte comporte de couleurs. Pour notre carte chromolithographiée au 20.000^{e}, il faut sept pierres, qui servent à l'impression : 1° Des traits noirs; 2° Des maisons, des routes et des chemins pavés; 3° Des eaux (cours d'eau, étangs, marais, etc.); 4° De la teinte dite de fond (terres cultivées); 5° Des jardins; 6° Des prairies; 7° Des bois.

Sur chacune de ces pierres, *obtenue par le même cliché*

photographique, on efface tous les détails qui ne correspondent pas à la couleur pour laquelle la pierre est préparée : ainsi, par exemple, pour la pierre qui sert à l'impression des bois, on efface tout ce qui n'est pas bois.

On conçoit facilement que la superposition des tirages à sec de chacune des sept pierres sur une même feuille de papier fournira une épreuve définitive où les détails topographiques seront exprimés par leurs teintes conventionnelles.

« La carte complète en chromo comprend 430 feuilles, qui sont la reproduction exacte des planchettes-minutes levées et nivelées sur le terrain à l'échelle du 20.000e. Cette carte doit être examinée au point de vue économique et ne peut être placée sur le même pied que les cartes gravées, lorsque la question de finesse et de travail artistique est mise en jeu. »

Carte photozincographiée. — En 1872, dans le but de faciliter et d'étendre dans l'armée les études topographiques et leur application aux opérations militaires, tout en donnant des renseignements précieux aux administrations dont les travaux se basent sur la configuration du sol, l'Institut cartographique militaire, bien que la carte chromolithographiée ne fut pas terminée, entreprit la publication d'une carte au 20.000e, imprimée en noir au moyen de la photozincographie.

Le procédé photozincographique est le même que le procédé que nous avons décrit pour la chromolitographie, seulement on transporte le cliché sur une plaque de zinc au lieu de le transporter sur une pierre.

L'emploi du zinc présentait, sur celui de la pierre, de nombreux avantages; rappelons ici ceux que nous avons déjà cités à propos du transport sur zinc de la gravure au 40.000e :

1° Un maniement plus facile des plaques pendant le travail;

2° Une réduction considérable de la place nécessaire à leur conservation ;

3° Un contact plus parfait entre le cliché et la plaque de zinc pendant l'exposition à la lumière, surtout si l'on emploie des plaques de zinc minces.

On se servit, pour cette carte, des dessins au 10.000e exécutés pour la carte chromolithographiée. Ces dessins furent au préalable complétés; car les prairies, les bois, les jardins et d'autres détails n'y figuraient pas, parce que ces choses devaient être représentées sur la carte chromolithographiée par des *teintes unies* conventionnelles. On indiqua donc les prairies et les bois par leurs signes conventionnels, on acheva les cours d'eau en traçant dans leur lit, parallèlement à leurs bords, des lignes figurant des ondulations. Les dessins au 10.000e offraient ainsi une représentation du terrain aussi complète que sur la planchette-minute et, de plus, ils étaient faits de manière à donner par la réduction photographique un excellent cliché.

L'impression du 20.000e en noir, qui ne demande qu'un seul tirage, marcha très rapidement; l'édition en noir, bien que commencée longtemps après l'édition en couleurs, fut terminée à peu près en même temps que celle-ci.

Cette carte en noir présentait l'avantage de ne coûter que très peu de chose à l'État, car, pour la publier, l'Institut cartographique utilisait des documents existant déjà; les plaques de zinc nécessaires, une par planchette, n'entraient guère en ligne de compte et les tirages pouvaient se faire sur papier mince.

Carte au procédé photogalvanique. — La carte photozincographiée, publiée dans les conditions que nous venons d'exposer, manquait d'aspect et de netteté : l'Institut cartographique, toujours à l'affût des progrès à réaliser, commença, dès 1881, la reproduction de la carte au 20.000e en noir en gravure photogalvanique. Ce procédé, comme son nom l'indique, est le résultat de la combinaison de la photographie et de la galvanoplastie : il consiste à impressionner une couche de gélatine bichromatée, étendue directement sur le cliché négatif, pour obtenir, après un lavage qui dissoud les parties restées solubles, une surface gélatineuse dans laquelle le trait de la planchette se trouve en creux; cette plaque, recouverte au préalable de plombagine, est alors plongée dans un bain gal-

vanoplastique au cuivre, une pellicule de cuivre se dépose sur toute sa surface qui prend, dès lors, l'aspect d'une gravure sur cuivre.

Les épreuves obtenues par ce procédé ressemblent à celles que donne la gravure en taille-douce et coûtent cent fois moins.

Le procédé photogalvanique fut employé à l'Institut cartographique militaire, de 1881 à 1885, pour la reproduction de la carte au 20.000ᵉ en noir; son emploi fut alors suspendu à cause de l'apparition d'un procédé nouveau, appelé à détrôner les anciennes méthodes et à permettre indifféremment la reproduction de la carte en noir et de la carte en couleurs. Ce procédé nouveau est celui de la gravure sur zinc de M. le colonel DE LA NOË, du service géographique de l'armée française, qui lui a donné le nom de *topogravure*.

Carte topogravée. — Le procédé imaginé par le colonel DE LA NOË est un perfectionnement de l'impression lithographique sur bitume de Judée, dont voici le principe en quelques mots : si l'on place un cliché négatif sur une plaque de zinc, recouverte d'une mince couche de bitume de Judée en dissolution dans de la benzine, et qu'on expose la plaque au soleil, la partie du bitume qui n'a pas reçu l'action des rayons lumineux peut seule se dissoudre dans un dissolvant du bitume (térébenthine ou benzine); la plaque étant donc plongée dans le dissolvant, après son exposition au soleil, les traits du dessin restent seuls adhérents au métal; une plaque de ce genre peut être traitée comme pierre lithographique et fournir au tirage un nombre d'épreuves assez considérable.

Le colonel DE LA NOË a apporté à ce procédé d'impression sur le bitume un très grand perfectionnement qui le fait ressembler à de la gravure véritable et qu'il a baptisé du nom de *topogravure*, parce qu'il convient admirablement à l'exécution des planches topographiques.

Au lieu d'employer un cliché négatif, comme cela est nécessaire pour les impressions ordinaires au bitume sur zinc, le colonel DE LA NOË se sert d'un cliché positif. Le cliché positif

est obtenu en plaçant le négatif sur une plaque sensible, en exposant un court instant à la lumière et en développant. Il est même possible d'employer le dessin original en guise de cliché positif, si ce dessin est exécuté avec une encre très noire sur un papier suffisamment translucide.

Le positif, quel qu'il soit, est appliqué contre une plaque de zinc recouverte d'une mince couche de bitume dissout dans de la benzine. Après une exposition suffisante à la lumière, la plaque de zinc est plongée dans un dissolvant du bitume : les traits du dessin s'y dissolvent seuls et l'on voit bientôt apparaître le dessin formé par la couleur même du métal mis à nu, le vernis au bitume couvrant tout le fond.

On soumet alors la plaque à une légère morsure au moyen d'un acide, morsure qui creuse un peu les traits du dessin. On a eu soin, au préalable, de vérifier la plaque et d'épaissir la couche de bitume aux endroits où le métal affleure, par suite de la façon parfois irrégulière dont on a enduit la plaque, ou encore par suite de défauts d'opacité du cliché qui provoquent la dissolution du bitume en certains points.

Après la première morsure, le graveur vérifie la plaque et rectifie les irrégularités du trait, puis on fait une deuxième morsure. La plaque est ensuite lavée, puis séchée, et l'on constate que les traits du dessin sont parfaitement creusés dans le zinc.

La plaque est alors de nouveau recouverte d'une couche de vernis au bitume, on s'assure bien de ce que le vernis pénètre dans tous les creux du trait. Quand le vernis est sec, on pose la plaque sur une surface bien plane et on frotte le vernis au bitume avec un morceau de charbon de saule : la friction au charbon enlève le vernis partout sauf dans les traits creusés dans le zinc. Le dessin apparait alors en brun sur le fond métallique du zinc.

La plaque ainsi traitée est susceptible d'être encrée lithographiquement et de fournir un tirage, tout comme les plaques traitées directement au bitume. Elle a sur ces dernières l'avantage de donner une bien plus grande finesse : l'encre canalisée, cloisonnée pour mieux dire, par le creux des tailles ne

pouvant s'étaler, soit au moment de l'encrage, soit au moment de la pression. De plus, la réserve de bitume, protégée par la taille qui la contient, résiste bien plus longtemps au frottement du rouleau.

L'Institut cartographique militaire a adopté ce procédé et en fait exclusivement usage pour la reproduction de la carte au 20.000e.

Mais la plaque, obtenue comme nous venons de le dire, ne sert qu'au tirage de quelques épreuves d'essai, pour le tirage des épreuves définitives on fait ce qu'on appelle un transport de topogravure : on tire une épreuve au moyen de l'encre à transport et on applique cette épreuve sur pierre ou sur zinc, on enlève la feuille de papier et le trait reste adhérent à la pierre ou au zinc. La pierre ou la plaque de zinc peuvent alors être encrées et donner des épreuves qui sont d'ailleurs fort belles.

On a appliqué le procédé à l'impression de la carte au 20.000e en couleurs. On fait pour cela autant de transports que la carte comporte de couleurs, c'est-à-dire sept, comme pour la carte chromolithographiée; mais, à l'inverse de ce qui se fait pour celle-ci, ce n'est pas sur la pierre que l'on gratte les détails qui ne correspondent pas à la couleur.

Les transports se font sur un papier recouvert d'amidon, légèrement jauni pour reconnaitre le côté enduit : l'impression étant obtenue sur ce papier, il est extrêmement facile de gratter les détails qui ne sont pas nécessaires, l'encre s'enlevant avec la couche d'amidon. On ne transporte donc sur chaque pierre ou plaque de zinc que les détails qui doivent recevoir la couleur que la pierre ou la plaque doit reproduire.

C'est en 1885 que la topogravure fut expérimentée à l'Institut cartographique militaire pour l'impression de la carte routière de la province de la Flandre orientale au 100.000e.

« Depuis 1888 ce procédé a été substitué à tout autre pour la mise à jour de la carte à l'échelle du 20.000e, et c'est grâce à son emploi que les nouvelles éditions (en couleurs et en noir) présentent, à l'égard du trait et des écritures, beaucoup plus

de finesse et de netteté que la première édition (trait en noir) et la deuxième édition (trait en bistre).

» Il convient de faire observer que les résultats obtenus par la topogravure ne le cèdent en rien — s'ils ne leur sont même supérieurs — à ceux que d'autres méthodes de photogravure et de gravure photogalvanique permettent d'obtenir. En tout cas, ils l'emportent de beaucoup, par la grande modicité de leur prix, sur les résultats des procédés où le cuivre intervient par voie de dépôt galvanique et dont l'Institut cartographique a fait usage depuis 1881 jusqu'en 1885.

» Les méthodes de reproduction dans lesquelles l'exposition à la lumière d'un *cliché positif* fournit l'image sur une surface bitumée, permettent d'obtenir une finesse de trait beaucoup plus grande que les procédés dans lesquels *un cliché négatif* agit sur une couche de gélatine bichromatée. Cette circonstance semble trouver une explication facile dans les conditions différentes de l'action de la lumière diffuse sur les deux espèces de clichés ou de couches. Cette action doit, en effet, rétrécir l'image du trait pour le cliché positif et la plaque bitumée, et l'élargir, au contraire, pour le cliché négatif et la surface bichromatée.

» Mais l'insolubilisation du bitume exige des temps de pose notablement plus longs que l'insolubilisation de la gélatine bichromatée ; ce qui n'est pas un grave inconvénient, aujourd'hui que l'éclairage électrique a pris un développement considérable.

» Depuis 1890, l'atelier photographique de l'Institut cartographique militaire belge possède les appareils d'éclairage électrique dont il était dépourvu lors des premières applications du procédé DE LA NOË.

» Relativement aux couleurs conventionnelles des bois, prairies, terres cultivées, etc., de la nouvelle édition du 20.000e, il est à remarquer qu'elles ne sont plus imprimées en teintes « plates » comme dans les éditions précédentes. Elles sont formées de « grisés », c'est-à-dire, au moyen de lignes parallèles, généralement très fines, imprimées en couleurs, et entre lesquelles apparaît la teinte blanche du

papier. Cette combinaison de lignes colorées et d'intervalles blancs produit un effet de « luminosité » et de transparence que les teintes plates ne présentent pas.

» Il y a donc, relativement aux procédés de reproduction de la carte au 20.000^e, deux genres de perfectionnements à signaler : perfectionnement par l'adoption de la topogravure, quant à la netteté du trait; perfectionnement par l'emploi des grisés, quant aux teintes en couleurs. » (*Notice sur les cartes, documents et objets exposés en 1894, à Anvers.* Colonel E. HENNEQUIN.)

Carte au 10.000^e.

L'Institut cartographique militaire a publié quelques-uns des dessins au 10.000^e, faits, comme nous l'avons vu, pour la reproduction de la carte au 20.000^e, notamment les environs de Bruxelles, sous le nom de *carte de service des environs de Bruxelles.*

Cette carte a eu deux éditions : la première, qui date de 1882, a été exécutée en 12 feuilles par la photozincographie; la deuxième, qui date de 1894 et comprend 15 feuilles, a été obtenue par des transports de topogravure. Pour cette dernière édition, les dessins avaient été mis à jour d'après les dernières opérations de revision sur le terrain et en utilisant les renseignements administratifs les plus récents.

Voyez les « *Observations sur la carte de service des environs de Bruxelles,* » édition de 1894, page 128 de la 1re Partie.

Carte au 160.000^e.

Les diverses éditions de la carte au 160.000^e que l'Institut cartographique militaire a publiées ont toutes pour base le travail de gravure entrepris en 1857 pour la publication de la première édition de cette carte. La gravure sur pierre a été successivement mise à jour pour les diverses éditions, d'après la revision topographique du terrain.

Les teintes de cette carte sont obtenues par des transports de gravure, de la même manière que les cartes en couleurs.

Les 4e et 5e éditions comportent, outre des teintes conventionnelles, des ombres qui servent à faire mieux saisir la représentation du relief du sol. Ces ombres sont exécutées par le procédé dit « au crayon chimique » dont nous dirons ici quelques mots.

Le crayon chimique est un bâton composé de savon, de suif et de noir de fumée. Pour le dessin des ombres au crayon chimique, la pierre doit d'abord subir une opération préparatoire, le grenage; c'est-à-dire qu'aux endroits qui doivent être ombrés on donne à la pierre un certain grain qui empêche, lors de l'application du crayon chimique d'obtenir une teinte plate, ce qui produirait une tache lors de l'impression. Les ombres ayant été tracées aux endroits grenés, on couvre la pierre d'une solution de gomme, celle-ci ne se dépose que sur les parties non ombrées. La gomme ne retenant pas l'encre d'impression, on conçoit que si l'on passe un rouleau chargé d'encre sur la pierre, on n'obtiendra à l'impression que les ombres. On peut faire de la pierre, ainsi préparée, un transport dont on se servira comme des transports destinés à l'impression des différentes couleurs.

La 1re édition de la carte au 160.000e date de 1859, ce n'est qu'une carte routière.

La 2e édition, publiée en 1874, comprend 4 feuilles chromolithographiées, renseignant les grands bois, les prairies et le relief du terrain, exprimé par des courbes en bistre équidistantes de 20 mètres, avec trait renforcé pour les courbes de 100 en 100 mètres, et des courbes pointillées pour marquer les sommets.

La 3e édition a paru en 1877, elle est identique à la précédente.

En 1884, l'Institut publia une 4e édition de cette carte, revisée au point de vue des routes et des chemins pavés : elle fut exécutée au moyen de transports sur pierre de la gravure, et comprend 6 feuilles au lieu de 4. L'expression du relief du terrain a été obtenue en combinant un travail au crayon

chimique, exécuté dans l'hypothèse de la lumière oblique venant du nord-ouest sous un angle de 45°, avec la représentation des courbes de niveau à l'équidistance de 20 mètres.

La 5e et dernière édition date de 1894, elle a été imprimée par transports sur zinc, en chromozincographie.

Voyez les *Notes* de l'Institut cartographique militaire, concernant les deux dernières éditions, pages 118 et 120 de la 1re Partie.

Cartes des environs des garnisons au 40.000e.

Ces cartes sont toutes obtenues par transport de la gravure sur pierre ou sur zinc. La notice publiée par l'Institut cartographique en 1883 disait : « Les transports qui ont servi à l'impression ont été constitués en employant, dans leur état actuel, les pierres de gravure de la carte au 40.000e, dont quelques feuilles ne sont pas encore achevées, mais dont beaucoup d'autres sont publiées depuis plusieurs années. Il en résulte que certaines cartes de garnison sont incomplètes, tandis que d'autres ne correspondent plus exactement aux conditions topographiques actuelles. Lorsque ces circonstances se sont produites, il en a été fait mention en marge des feuilles correspondantes.

» Les cartes des environs de garnison ont été mises à jour, en ce qui concerne les chemins de fer, les stations et les haltes, les canaux, les routes de l'Etat, les routes provinciales et les chemins pavés ou empierrés, d'après les minutes de la revision topographique sur le terrain pour les parties où cette revision est terminée. Pour le restant du territoire on s'est servi de renseignements recueillis aux Départements des travaux publics et de l'intérieur. »

De nouvelles éditions de cette carte ont été publiées depuis 1883, mais au moyen du même procédé de reproduction.

Mise à jour des documents topographiques en ce qui concerne le travail de reproduction.

La publication des cartes au 20.000e en couleurs et en noir, commencée respectivement en 1865 et en 1872, fut entièrement terminée en 1881. Pendant cette période de 15 ans, la topographie du pays s'était considérablement modifiée : il fallut songer à mettre ces cartes au courant.

Une première revision de ces cartes fut commencée dès 1879, et l'Institut publia, au fur et à mesure du travail de revision, une 2e édition de la carte. Nous avons fait connaître les procédés de reproduction qui ont été employés pour cette 2e édition, dont les dernières planchettes portent la date de 1890.

Il fut décidé, en principe, à l'Institut cartographique militaire, qu'une revision topographique correspondrait à chaque période décennale de recensement officiel, une 2e revision a donc été commencée en 1890.

Les revisions sont effectuées sur les planchettes-minutes qui ont servi à la publication de nos cartes. Il est évident que ces revisions du 20.000e servent à mettre au courant les cartes topographiques aux diverses échelles.

La revision se fait de deux manières : par renseignements administratifs et par les travaux sur le terrain d'une brigade d'officiers topographes reviseurs.

Les renseignements administratifs sont donnés : pour les voies de communication par les ingénieurs de l'État et les commissaires-voyers, pour les cours d'eau par les inspecteurs et les gardes généraux des Eaux et Forêts.

« La mise à jour des pierres de gravure comprend, en principe, trois périodes : la 1re relative à la voirie pavée, aux chemins de fer, aux canaux et eaux, ainsi qu'aux ouvrages de fortification; la 2e, réunissant les principaux détails topographiques : bois nouveaux, bois « dérodés », prairies; la 3e concernant les autres modifications, et spécialement la planimétrie des grandes villes. Certaines corrections, qu'il y a

lieu d'exécuter sans retard, particulièrement au sujet des dénominations de localités, ont lieu à n'importe quelle période de la mise à jour. » Colonel HENNEQUIN.

Dans la pratique, il est parfois plus avantageux de faire exécuter simultanément des modifications d'inégale importance. En effet, la plupart des corrections à la gravure exigent non-seulement que certains traits disparaissent, mais encore que les creux ainsi produits soient raccordés en pente douce avec les parties voisines. Ce travail, qui s'effectue au grattoir, à la pierre-ponce et à la pierre de touche, fait disparaître une partie de la gravure au voisinage de la correction à exécuter. Celle-ci ne comporte donc pas uniquement la modification nécessaire, mais, en outre, la réfection de la gravure sur une zone plus ou moins étendue. Cette dernière partie du travail n'étant pas directement utile, on doit chercher à la rendre aussi peu fréquente que possible. On est donc quelquefois conduit à effectuer en même temps, lorsqu'elles portent sur les parties très voisines d'une pierre, des modifications qui se classent théoriquement dans des catégories d'opérations différentes.

Le travail de mise à jour est exécuté directement sur la pierre pour les cartes gravées. Les corrections sont effectuées avec une telle précision et une telle délicatesse de burin qu'on ne parvient à les découvrir qu'en comparant les nouvelles épreuves avec les anciennes. On peut néanmoins obtenir une carte revisée en se servant de l'ancienne gravure, on effectue pour cela un transport que l'on met au courant à l'encre grasse.

Les cartes chromolithographiées et photozincographiées peuvent être mises à jour en traçant les nouveaux détails à l'encre grasse directement sur la pierre ou la plaque de zinc.

En ce qui concerne les cartes topogravées, l'Institut cartographique militaire ne s'est pas encore trouvé dans le cas de devoir y apporter des corrections, cependant la question a été étudiée : on pourrait faire compléter ces planchettes par le graveur, mais on préfère compléter les dessins au 10.000^{e} et refaire un nouveau cliché. On voit que c'est encore là un

nouvel avantage de la topogravure si rapide et si peu coûteuse.

Pour terminer, donnons l'état des publications de l'Institut cartographique militaire, au point de vue de la revision.

Le tableau d'assemblage, publié le 5 novembre 1895, signale :

45 feuilles au 40.000e en couleurs mises à jour.

Les planchettes au 20.000e, à la disposition du public, se décomposent en :

135 planchettes de la 1re édition;

1 planchette réimprimée en couleurs de la 1re édition, complètement mise à jour;

5 planchettes réimprimées en couleurs (1re édition) et mise à jour quant aux principales voies de communication;

8 planchettes imprimées en couleurs de la 2e édition;

220 planchettes topogravées en couleurs (nouvelle édition);

58 planchettes topogravées en noir (nouvelle édition).

La carte au 16.000e, édition de 1894, mise à jour aussi complètement que le comporte l'échelle de la carte.

QUATRIÈME PARTIE

RECONNAISSANCES TOPOGRAPHIQUES

Quelque détaillée que soit une carte topographique, quelque grande que soit son échelle, quelque nombreux que soient les signes conventionnels adoptés, il ne sera jamais possible d'exprimer, par la carte seule, *tous les renseignements* topographiques qui intéressent le militaire en campagne.

Le commandant d'une troupe, avant de s'engager dans une opération de guerre, devra *toujours* prendre la précaution d'envoyer en avant des officiers qui compléteront les données de la carte au moyen de croquis et de mémoires descriptifs.

L'échelle des cartes que l'on emporte en campagne doit nécessairement être assez petite. Si les états-majors des grandes unités tactiques peuvent caser dans leurs fourgons à bagages une collection complète de feuilles au 80.000e, au 40.000e, voire même au 20.000e dans un petit pays comme le nôtre, les unités plus petites n'auront en général que des cartes au 100.000e, au 160.000e, au 200.000e.

Les cartes au 20.000e sont peu pratiques dans les marches, il faut en changer trop souvent, surtout à cheval, et le paquet à emporter avec soi est très volumineux (1re partie p. 35). Les états-majors, lorsqu'ils en possèdent, n'en font usage qu'au repos ou dans des cas tout à fait spéciaux, par exemple pour la reconnaissance détaillée d'une position.

La carte topographique de l'état-major est, en Belgique, le 40.000e. Cependant l'état-major de l'armée et les états-majors des divisions emportent, dans leurs fourgons à bagages, une collection complète des planchettes au 20.000e, collées sur coton.

Les cartes sont rangées méthodiquement, d'après le tableau

d'assemblage, dans des caisses spéciales, qui ont une place indiquée dans les fourgons.

Les régiments, les bataillons, les compagnies, les escadrons et les batteries ont, en Belgique, la collection complète des feuilles au 40.000e, ainsi qu'une *carte des chemins de fer, routes et voies navigables au 320.000e*. Ces cartes sont transportées, en manœuvres et en campagne, par les voitures de ces unités; elles ne sont pas collées sur coton, mais elles sont imprimées sur un papier mince très résistant et pliées comme si elles étaient sur coton.

L'officier de troupes belge ne possède, en campagne, que la carte réglementaire au 160.000e. Il porte sur sa personne le sixième de la carte, comprenant le territoire sur lequel il manœuvre ou stationne; les cinq sixièmes dont il ne fait momentanément pas usage sont dans sa mallette, transportée par le fourgon à bagages de l'unité à laquelle il appartient. (Consultez la Table des matières de la 1re Partie si vous désirez des renseignements complets sur ces divers genres de cartes belges.)

La carte au 40.000e, *dont l'équidistance est de 5 mètres*, ne donne pas, pour les opérations tactiques, des indications suffisantes sur les mouvements secondaires du terrain. Cette carte indique, par des signes conventionnels, les routes, les chemins pavés ou non pavés, les sentiers, mais ces signes ne peuvent faire connaître suffisamment la nature des chemins en toutes saisons, l'état d'entretien et la largeur des pavés, la praticabilité des accotements, etc., etc.; la largeur des *ponts*, leur solidité, les matériaux dont ils sont construits, etc.; les *rétrécissements* des grand'routes dans la traversée des villages. Elle ne donne aucune indication sur le régime des *cours d'eau*, sur leur largeur, leur profondeur; la nature de leur lit, de leurs bords, de leurs rives. Elle ne peut donner l'importance des *rideaux* formés par des rangées d'arbres, des bois ou des constructions, etc., l'importance de l'*obstacle* que créent les clôtures, les haies, les chemins ravinés, etc. (Voyez le Memento pour les reconnaissances spéciales, p. 34.)

Puis, *les cartes vieillissent* et la surface du sol subit des

transformations. Des arbres grandissent ou disparaissent; des bois sont plantés, d'autres sont défrichés et les terrains qu'ils occupaïent sont convertis en terres labourables; des constructions nouvelles sont bâties; des routes, des chemins sont améliorés, pavés; le réseau des voies ferrées se développe tous les jours; des prairies humides sont drainées, des marais sont desséchés; *les moissons grandissent* et *disparaissent en quelques jours* (1); enfin, mais c'est un point que traite le professeur d'Art militaire, le chef peut avoir besoin de renseignements statistiques.

En général, l'officier chargé d'une reconnaissance topographique dessinera un *croquis* et rédigera un *mémoire*. Le croquis et le mémoire se compléteront mais ne feront pas double emploi.

Parfois le croquis sera remplacé par une carte ou un fragment de carte corrigé ou complété à un point de vue spécial. On adoptera, au besoin, une série de signes conventionnels de circonstance dont on annexera la légende à la carte.

Les reconnaissances se font *toujours la carte à la main.* Les croquis et les mémoires descriptifs doivent mentionner spécialement, *et presque exclusivement,* les modifications topographiques survenues depuis l'impression de la carte *et les renseignements utiles que la carte ne donne pas.*

Les croquis doivent nécessairement reproduire quelques grandes lignes de la carte, telles que les voies de communication principales et les cours d'eau, pour qu'il soit possible de se rendre un compte exact de la position occupée par les détails supplémentaires que mentionnent ces croquis. (2e *Partie*, pages 279 et 282.)

On fera bien d'indiquer la carte dont on s'est servi pour exécuter la reconnaissance.

Exemple : Feuille au 40.000e de Wavre. — Rédigée et gravée au Dépôt de la guerre à Bruxelles en 1874. — Revision de la gravure (voirie) en 1883-1885. (*1re Partie*, p. 42.)

---

(1) Bataille de Fleurus, 1er juillet 1690; campagne de 1815, batailles de Ligny et de Waterloo, 16 et 18 juin.



En pays ennemi on n'aura parfois à sa disposition que des cartes chorographiques ou même des cartes géographiques : les reconnaissances seront plus difficiles, plus laborieuses, mais aussi plus nécessaires, et l'on utilisera ces cartes, dans la mesure du possible, pour l'établissement d'un canevas. (2[e] *Partie*, p. 279.)

Les reconnaissances que les élèves feront, comme exercices pratiques dans les environs de Bruxelles et d'Anvers, seront des reconnaissances purement topographiques (itinéraires, cours d'eau, ilots de maisons, châteaux, fermes, gares, détails du relief). Voyez, pour plus de développements, le cours d'*Art militaire*.

Le chef qui ordonne une reconnaissance topographique doit en préciser l'objet et en limiter l'étendue ; il doit aussi, autant que possible, mettre l'officier qui l'exécutera au courant des motifs qui le portent à le charger de cette mission spéciale, s'il veut que la reconnaissance soit complète et réellement utile à la réalisation de ses projets.

Le mémoire descriptif aura les qualités de style exigées pour tout rapport militaire et développées articles 32 et 40 du titre I du règlement provisoire sur le service de campagne de 1893.

32. . . . .

« Le *style* doit être *clair, simple, concis*, et ne jamais donner lieu à équivoque ; les prescriptions et les faits sont exprimés avec précision et classés avec méthode; on évite les mots inutiles, les formules de politesse; l'*écriture* doit être assez nette pour qu'on puisse la déchiffrer, même avec un mauvais éclairage.

» Pour marquer la *situation* relative des localités, soit entre elles, soit par rapport aux troupes, on évite d'employer les expressions : *en avant, en arrière, à droite, à gauche, de ce côté-ci, au-dessus*, etc., dont la valeur, toujours relative, dépend du point où se trouve celui qui écrit ; on les remplace par les termes géographiques : *nord*, *sud-ouest*, *rive droite*, *en amont* de, etc.

» Quand, par exception, on parle de « *la droite* » et de « *la gauche* » ces expressions se rapportent aux troupes et on est toujours supposé faire face à l'ennemi.

» Lorsqu'on désigne un point par sa côte de niveau, l'indication doit être complétée, une même côte pouvant se retrouver plusieurs fois dans

la même région : mamelon 125 à 2 kil. à l'est de Braine-l'Alleud.

» Les *noms propres* sont écrits très lisiblement et en caractères plus grands.

» L'orthographe des noms de localités est conforme à celle des cartes dont se sert l'armée.

» Si une localité porte deux noms différents, on place entre parenthèses celui de ces noms qui ne figure pas sur les cartes; on indique également, entre parenthèses, la prononciation usitée par les habitants si celle-ci diffère de la prononciation indiquée par l'orthographe.

» Lorsque des localités, assez rapprochées les unes des autres, portent le même nom, on prévient toute confusion en déterminant la localité dont il est question par des indications complémentaires.

» On s'abstient, autant que possible, de remplacer les noms de localités précédemment énoncés par un pronom ou par une périphrase mieux vaut répéter le nom.

40. Tout rapport doit être *fidèle*, *méthodique*, *concis* et cependant *complet*.

« L'auteur y distingue expressément ce qu'il a vu par lui-même, de ce qui lui a été rapporté.

» Il s'applique, dans l'exposé des faits, à élaguer toute expression vague, et à préciser, avec la plus grande exactitude, l'arme, la force, le lieu, l'heure, la direction suivie, les mesures prises, les résultats obtenus; en un mot, toutes les circonstances qui caractérisent l'événement.

» Pour éviter de longs développements dans le texte, il est presque toujours utile d'y joindre un *croquis* et des tableaux qui permettent de se rendre compte de la situation d'un coup d'œil.

» Le croquis est d'ordinaire réduit à la forme la plus simple ; on n'y fait figurer que les indications topographiques indispensables au but que l'on se propose; la carte supplée au reste. Un croquis détaillé n'est nécessaire que dans le cas où il y a lieu de compléter la carte par certaines indications intéressantes ou de donner un aperçu de travaux importants exécutés sur le terrain. »

On abrégera les descriptions topographiques et on les rendra plus claires, plus positives et plus *frappantes* en ajoutant au texte du mémoire des dessins pittoresques et des croquis à main levée : planimétrie et relief agrandis, coupes, profils, vues sous diverses faces, etc. On inscrira, sur ces dessins, les dimensions de quelques lignes principales ou bien on donnera l'échelle adoptée.

On trouve, dans les auteurs et dans les règlements, des

modèles divers de mémoires descriptifs et de croquis de reconnaissances : il faut les considérer comme des guides utiles et s'en servir comme aide-mémoire, mais il faut s'abstenir de les suivre servilement, car chaque cas particulier donne lieu à une exécution spéciale qui dépend d'une foule de circonstances.

L'officier en reconnaissance s'inspirera donc des ordres qu'il a reçus et des circonstances au milieu desquelles il est amené à les exécuter.

Voyez plus loin deux types de reconnaissances topographiques exécutées dans les environs de Bruxelles, dont les croquis ont été réduits par la photographie pour pouvoir les intercaler dans le texte, et quelques modèles préconisés par des auteurs ou des règlements. Voyez aussi 2e Partie, p. 282.

Memento pour les reconnaissances spéciales.

« *Aperçu général et description d'ensemble du terrain.*

» **Routes et chemins.** — Nature et degré de viabilité pour les différentes armes, les convois. État d'entretien : matériaux employés ; mauvais pas ; ressources existant dans le voisinage pour les réparations. Largeur, surtout dans les parties les plus étroites. Pentes. Bordures : arbres (indiquer leur espacement), haies, fossés, murs, etc.; route encaissée ou en chaussée. La route est-elle kilométrée ?

» Voies de communication qui croisent la route ou s'embranchent sur elle : indications fournies par les croix, les poteaux d'embranchement, etc. Passages des chemins de fer : à niveau, inférieurs, supérieurs. Passages des cours d'eau : gués, ponts. La route est-elle suivie de fils télégraphiques, aériens ou souterrains ? Nature des supports aériens, leur espacement ; où sont les postes télégraphiques ?

» Terrain environnant : se prête-t-il à la marche et au déploiement des troupes ? A-t-il des vues étendues ? Y trouve-t-on des positions défensives ? Facilités ou difficultés qu'il présente pour la retraite; se prête-t-il aux surprises ? etc. Villes



ou villages, châteaux, usines, etc., qu'on rencontre sur la route ; défilés qu'elle traverse.

» **Chemins de fer.** — Direction générale et importance de la ligne. Dispositifs de mines, emplacements et charges des fourneaux.

» Ouvrages d'art dont on doit prévoir ou préparer la destruction dans certaines éventualités; points sur lesquels une destruction partielle de la voie serait le plus efficace; durée de l'interruption (1).

» Interruptions qui peuvent exister sur la ligne. Temps et moyens nécessaires pour la remettre en état. Possibilité d'établir des voies de détournement.

» Mesures de sécurité à prendre pour protéger la ligne : parties à surveiller spécialement. Opportunité et possibilité de mettre les gares ou d'autres points en état de défense.

» *Ligne.* — A double ou à simple voie. Tracé et profil en long : longueur des sections en ligne droite, longueur des parties courbes, leur rayon de courbure, longueur des portions de voies en palier; longueur et raideur des pentes et des rampes (des poteaux indiquent généralement les changements de pente). Remblais, matériaux dont ils sont formés ; tranchées, nature de leur revêtement. Tunnels : longueur, hauteur, mode de construction. Ouvrages d'art, viaducs, ponts, passages. Bifurcations. Profil et nature des rails, leur longueur, manière dont ils sont assujettis sur les traverses.

» Postes télégraphiques et signaux installés sur les lignes en dehors des gares.

» Peut-on utiliser la voie pour le passage des voitures ? (Il faut pour cela que les traverses soient recouvertes et le sol nivelé.)

---

(1) « L'étude des moyens à employer est du ressort des commissions de chemins de fer de campagne, à qui incombe la tâche d'opérer la destruction totale ou partielle de la voie et des ouvrages d'art. Il est de règle absolue qu'aucun ouvrage d'art ne peut être détruit, ou mis hors de service, sans l'ordre formel du général en chef ou d'un officier général délégué spécialement à cet effet. (Règlement sur les transports militaires par chemins de fer.) »



» *Gare.* — Importance de la gare; si c'est un nœud de chemins de fer, nombre et direction des lignes qui y aboutissent. Nombre des employés de l'exploitation, de la voie et de la traction. Bâtiments d'exploitation, leur capacité; cours pour les voyageurs et les marchandises. Possibilité d'établir des magasins et des ambulances dans les bâtiments et dans les dépendances sans gêner l'exploitation de la ligne. Voies principales, de garage de manœuvre, etc. Plaques tournantes, aiguilles ou changements de voies. Quais couverts ou découverts; points sur lesquels on pourrait établir des quais provisoires ou organiser des débarquements avec rampes mobiles. Grues de déchargement fixes et mobiles ; gabarits indiquant les dimensions maxima du chargement des wagons. Appareils télégraphiques : disques, sémaphores et signaux. Réservoirs d'eau, moyen de les alimenter. Dépôts de machines. Nombre de voitures et de locomotives. Approvisionnements de charbon.

» **Cours d'eau.** — Largeur, profondeur; hauteur et époque des crues, des basses eaux; rapidité du courant (1). Si la marée se fait sentir, jusqu'où remonte-t-elle? Le cours d'eau gèle-t-il habituellement en hiver? Débâcles. Brouillards, brumes dans les diverses saisons. Qualité de l'eau, son utilisation pour le commerce et l'industrie. Nature du lit, des berges; commandement d'une rive sur l'autre. Iles : nombre, dimensions, formes, etc. Largeur de la vallée, nature de ses pentes, défilés ou étranglements qu'elle présente. Moulins, usines, hameaux et villages ou villes situés sur les bords du cours d'eau.

» Peut-on tendre des inondations? Procédés à employer.

» Indications relatives à la navigation : limites du flottage, de la navigation; écluses, ports, quais, barrages.

» Batellerie : nombre et espèces de bâteaux en usage, dimensions, tonnage, tirant d'eau; mode de traction; vitesse à la descente et à la montée; ressources en personnel.

---

(1) La vitesse d'un courant s'exprime par le nombre de mètres que parcourt, en une seconde, un flotteur abandonné dans le thalweg.

» Points favorables pour l'établissement des ponts militaires.

» *Ponts :* en pierre, en bois, en fer, suspendus, passerelles, etc.; longueur, largeur, praticabilité aux différentes armes et aux charrois; abords, appui que prête le terrain en deçà et au delà, facilité de déboucher; possibilité d'établir une tête de pont.

» *Bacs et trailles :* nature, dimensions; peuvent-ils servir aux chevaux, aux voitures? Chemins d'accès.

» *Gués :* profondeur, largeur, direction (perpendiculaire ou oblique), nature du fond; existent-ils en toute saison? Facilité d'accès.

» *Canaux.* — Largeur, profondeur, nature des bords, niveau de l'eau, à fleur de terre au-dessous ou au-dessus du sol naturel? Peut-on établir des saignées? Dérivations, réservoirs d'alimentation. Ecluses, gares, souterrains, ponts-canaux, etc. Etat et largeur des chemins de halage. Comment passent-ils les ponts? Rive de manœuvre des ponts mobiles.

» *Digues.* — Emplacement, nature, hauteur, épaisseur.

» *Marais, tourbières, étangs.* — Etendue, profondeur, nature de leurs abords: se dessèchent-ils parfois; peut-on les traverser? Possibilité de déverser les eaux d'un étang dans l'autre ; temps nécessaire.

» *Défilés.* — Longueur, largeur, viabilité ; nature des hauteurs dominantes et des débouchés : facilités ou difficultés qu'ils présentent au point de vue de l'attaque, de la défense ou de la retraite; moyens de rendre le défilé impraticable; peut-il être tourné? Rechercher les positions accessibles qui donneraient à la défense des vues étendues.

» **Forêts et bois.** — Situation, étendue, reliefs du terrain; appartenant à l'Etat, aux communes ou à des particuliers. Nature du sol. Cours d'eau, étangs, inondations possibles à l'intérieur ou aux abords; sources, leur emplacement, leur débit.

» Essences dominantes. Mode d'exploitation : futaie avec ou sans sous-bois, fourrés (quart en réserve), taillis sous futaie.

» Densité des massifs; clairières; emplacement des nouvelles coupes. Pénétrabilité pour l'infanterie, pour la cavalerie, etc.

» Enclaves : cultures, villages, maisons forestières.

» Voies de communication : routes et chemins entretenus, tranchées, laies sommières, empierrées ou non empierrées. Direction de ces voies de communication, état d'entretien, largeur; sont-elles bordées de fossés, en remblai, en déblai, en corniche? Y a-t-il des ponts ou des gués? Sont-elles bordées de gros arbres pouvant servir à faire des abatis? Carrefours, étoiles. Direction, nombre, largeur, état d'entretien des lignes séparatives des coupes dans les diverses parties de la forêt: sont-elles habituellement élaguées pour la chasse? Sentiers.

» Lisières : leurs parties défensives, points dominants, vues en avant, rentrants, endroits fourrés, fossés, murs, talus, flanquements, constructions; leurs parties faibles, saillants, points dominés, éclaircies, zones où aboutissent les cheminements naturels de l'attaque. Chemins de surveillance le long des lisières.

» Défense intérieure : lignes de résistance successives, réduit ou réduits; région favorable à des retours offensifs, organisation de débouchés offensifs.

» Moyens de défendre la forêt contre des attaques tournantes.

» Emplacements à occuper en arrière pour empêcher l'ennemi de déboucher s'il s'empare du massif. Villages et positions aux abords.

» Ressources que l'on trouverait dans le voisinage : agents forestiers, bûcherons, outils, tréfileries.

» **Hauteurs.** — Système dont elles font partie : direction, élévation, pentes, nature des cultures, commandement; moyen d'atteindre leur sommet ou de les franchir; emplacements de défense qu'elles présentent.

» **Facilités de parcours à travers champs.** — *Plaine.* Étendue, nature du sol, cultures, villages, hauteurs dominantes. Obstacles qui gêneraient ou arrêteraient la marche

des troupes : bouquets de bois, cours d'eau, étangs, marais, fossés, chemins creux, haies, clôtures, murs, etc.

» *Terrains accidentés.* — Hauteur des sommets, raideur des pentes, largeur des vallées; nature du sol sur les sommets, sur les pentes et dans les fonds; cultures, lieux habités; obstacles qui arrêteraient ou gêneraient la marche (comme ci-dessus).

» **Lieux habités.** — Situation géographique et administrative; population : agricole, viticole, industrielle, forestière; nombre d'habitants, de feux, de maisons; écarts : leur importance, leur distance.

» Ruisseaux, puits, distributions d'eau, fontaines, mares.

» Disposition et largeur des rues, places.

» Bâtiments principaux : églises (indiquer la forme et la hauteur des clochers), couvents, casernes, collèges, hospices, établissements industriels, châteaux, écuries, granges.

» Nature des constructions, des toitures. Ressources pour la nourriture, l'entretien et le cantonnement; moyens de transport; où se conservent les récoltes, sous des granges ou en meules? nombre de fours.

» Lisières : clôtures extérieures, parcs, cimetières; nature des abords, commandement, vues en avant.

» Moyens de mettre la localité en état de défense; emplacements pour l'artillerie, les réserves; points qui peuvent servir de réduits. »

(*Aide-mémoire de l'officier d'état-major en campagne.* Paris, 1886.)

Bâtiments isolés. — Une reconnaissance de l'espèce sera faite, comme exercice d'application, soit à Bruxelles, soit dans le camp retranché d'Anvers où des fermes, des fabriques, des châteaux, etc., entourés de larges fossés pleins d'eau, ont une importance tactique considérable.

On joindra un croquis à grande échelle, très détaillé, au mémoire descriptif qu'on abrégera autant que possible.

On portera spécialement son attention sur les matériaux de construction (bois, pierres de taille, moellons, briques, pisé, torchi); le nombre, la hauteur, la largeur des portes et

des fenêtres extérieures dans les diverses directions; les dispositions intérieures des bâtiments (1), les étages et les caves; la nature des toitures (ardoises, tuiles, chaume ou plate-forme couverte en zinc); les annexes ou dépendances (hangars, écuries, étables, remises, granges, jardins, vergers, bosquets, pièces d'eau, etc.); les clôtures (murs, grilles, haies, fossés pleins d'eau, levées de terre, palissades en billes pour les gares); la valeur tactique de ces clôtures (hauteur, épaisseur, solidité; profondeur, largeur des fossés remplis d'eau.....); les matériaux que l'on trouve sur les lieux et qui pourraient être utilisés pour une mise en état de défense, ceux, au contraire, qui constitueraient un danger pour le défenseur (paille, foin, bois....).

On indiquera les puits, les citernes et les pompes.

On donnera la description du terrain avoisinant; les vues de l'intérieur vers l'extérieur et de l'extérieur vers la position; la nature des couverts, leur profondeur, leur hauteur, etc.

Reconnaissance d'une position.

Reconnaître topographiquement une position, c'est compléter la carte au point de vue spécial de l'occupation tactique ou de l'attaque de cette position.

Pour remplir parfaitement sa mission, le topographe doit être doublé d'un bon tacticien.

Il ne faut pas vouloir tout renseigner, c'est impossible, mais il ne faut omettre aucun renseignement militaire important.

Remarques. — On ne peut généralement tracer la crête militaire, sur les cartes dont l'équidistance est de 5 mètres, qu'en se rendant sur le terrain.

La crête principale et la crête militaire ne jouissent des

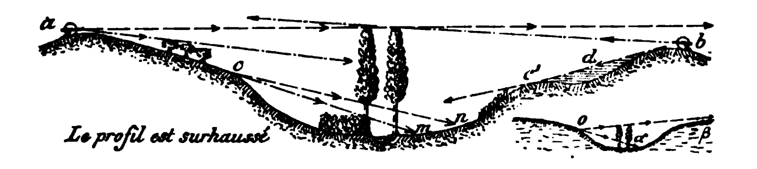
(1) Dans les exercices d'application, les élèves ne pénétreront pas dans les bâtiments : ils ne renseigneront donc que ce qu'ils peuvent voir de l'extérieur.



propriétés développées en tactique que pour autant que le sol soit nu et les pentes régulières.

Les cartes ne mentionnent pas la hauteur des couverts formés par les arbres, les haies, les habitations..........., *les moissons;* le 40.000ᵉ n'exprime pas suffisamment les plis de terrain : un champ de tir, que l'on pourrait croire très étendu en examinant la carte, peut, en réalité, être très restreint ou même disparaître entièrement s'il existe des couverts ou des plis de terrain secondaires en apparence insignifiants.

Exemple. — Vallée peu profonde plantée de hauts peupliers; vergers, haies, bosquets, habitations, moissons, plis de terrain sur les versants.



Les batteries *a* et *b* ne peuvent se voir. La pièce *a* ne voit absolument rien du versant opposé. L'infanterie *c* ne peut apercevoir que l'espace *mn*. De *c'* on ne voit rien. Un léger pli de terrain *d* crée un angle mort devant l'artillerie *b*.

De la crête militaire *o* on ne voit pas tout l'espace $\alpha\beta$ du versant opposé.

Les cartes ne donnent pas des indications suffisantes sur la nature du sol, des bois, des clôtures, des cours d'eau, des fossés, des chemins ravinés, etc., etc., au point de vue de l'occupation, de la défense ou de l'attaque, de l'*obstacle* qu'ils présentent aux marches tactiques à travers champs.

La reconnaissance topographique portera donc principalement sur les *détails du relief*, les *couverts* et les *obstacles*.

L'officier chargé de la reconnaissance topographique sera généralement chargé de tracer sur la carte les positions d'infanterie et celles de l'artillerie, les emplacements probables des batteries de l'adversaire, les directions que devront suivre

les attaques ennemies, etc., etc. : le travail du topographe aura pour base les conceptions tactiques.

Voyez, pour plus de développement, nos divers règlements, le *Manuel des travaux de compagne pour l'infanterie*, les cours de *Géographie militaire*, d'*Art militaire* et de *Fortification passagère*.

Itinéraire de A à B.

ORIENTATION DE LA ROUTE	CROQUIS 100 m. à droite et à gauche.	RENSEIGNEMENTS sur la route.	sur le terrain à droite (de A vers B)	sur le terrain à gauche (de A vers B)

N. B. — Nous ne préconisons pas ce modèle. On peut changer l'ordre des colonnes, en ajouter, en supprimer.

Modèle du Dépôt de la Guerre (France).

Noms des lieux	Distances entre les points remarquables	Désignation des points remarquables sur la route	Étendue de chacun des accidents	Largeur de la route	Vues ou profils des défilés, ponts, gués et autres objets remarquables	Nature de la route, son état d'entretien. Détails descriptifs sur le terrain qu'elle traverse, sur les villages, les habitations, les passages d'eau, sur les objets peu éloignés qui offrent quelque intérêt militaire; nature et dimensions des ponts, des gués; époque de l'année où ceux-ci sont praticables; nombres d'hommes, de chevaux, de voitures que peuvent contenir les bacs; temps employé pour le passage et le retour; moyens qu'offrent les environs pour réparer la route et les ponts.	Observations générales
		Ils sont déterminés par un changement de direction ou de construction, par l'origine d'un défilé, d'une pente d'enrayage ou d'une montée, par un mauvais pas, un pont, un gué, un point appartenant à un thalweg ou à une ligne de partage, par une usine ou un autre bâtiment, par l'embranchement d'un chemin ou d'un sentier.					

Si ce tableau ne peut pas être contenu dans une seule feuille, on le dispose en cahier s'ouvrant sous le titre des colonnes qu'on évite ainsi de répéter en tête de chaque page.

6me BRIGADE.

ETAT-MAJOR.

Reconnaissance de la route de Tervueren à Bruxelles

La reconnaissance a pour objet de compléter les renseignements topographiques donnés par la feuille de Bruxelles au 40.000^e^. Transport sur zinc en 1890.

La route est bien pavée. Le pavé a une largeur de 5^m^60. Les accotements, 1^m^25 à 1^m^50 entre le pavé et les bordures d'arbres, sont praticables aux voitures en tout temps (excepté dans la forêt).

En dehors de l'agglomération, jusqu'Aux 4 Bras, la route est bordée de hêtres, espacés de 2 mètres seulement. Ces hêtres ont un diamètre de 0^m^25 à 0^m^35.

Quelques maisons nouvelles avant la forêt.

A. Bois de sapins de 20 ans.

B. Haute futaie de hêtres alignés et très espacés, sans taillis, accessible à la cavalerie.

C. Nouvelle plantation de bois; taillis ne changeant pas l'aspect du terrain en hiver, mais qui formeraient couvert s'il y avait du feuillage.

L'Auberge « ***Aux** 4 **Bras*** » peut loger six chevaux, c'est un bâtiment assez important tandis que le cabaret « ***Pavillon du Roi*** » est une construction octogonale très étriquée. L'habitation derrière le cabaret est peu importante et perchée sur un talus.

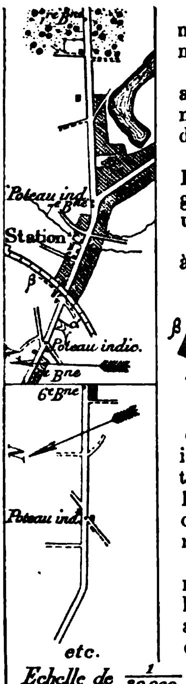
La route sous bois est excellente comme pavé, mais les accotements, surtout de *a* en *b*, sont très humides, parfois fangeux et impraticables aux voitures.

La route, dans la forêt, est bordée de grands hêtres de 0^m^40 à 0^m^60 de diamètre, espacés de 2 mètres au plus.

Depuis la 3e *B*^ne^ jusqu'en *c*, des deux côtés de la route, ce sont des bois de hêtres alignés et très espacés; haute futaie sans taillis, accessible à la cavalerie, même en masse.

Au delà de *c*, jusqu'à la sortie de la forêt vers Auderghem, haute futaie, de hêtres et de chênes, sur taillis de 3 mètres, accessibles à l'infanterie seulement.

Les chemins de la forêt sont humides et défoncés.



Maison de garde-chasse à droite à la sortie; puis, mur d'une campagne, soutenant les terres qui sont au niveau de la crête du mur du côté de l'habitation.

Auderghem. Nombreuses constructions nouvelles avant d'arriver à la route de Namur : ces maisons masquent en grande partie les vues sur Rouge-Cloître de la chaussée de Namur.

La route de Namur a 9 mètres de largeur de pavé. Les accotements sont convertis en trottoirs dans Auderghem. La route, dans la traversée du village, conserve un minimum de largeur de 10 mètres (avec trottoirs).

La Woluwe est voûtée depuis 50 mètres avant d'arriver à la route jusque 50 mètres au delà. Le ruisseau plus à l'Ouest entre sous une voûte, de façon à conserver à la route toute sa largeur.

P, bureau de poste; *H*, maison communale; *G*, gendarmerie.

Télégraphe à la gare. Téléphone à la gendarmerie et chez plusieurs particuliers.

Pont sous le chemin de fer : largeur totale $10^{m}25$ comme la route en cet endroit), hauteur de la partie inférieure au-dessus du sol $4^{m}50$; culées en maçonnerie; tablier en poutrelles métalliques couvertes de madriers. Le pont était primitivement construit pour une voie, on l'a élargi et l'on utilise actuellement la partie nouvelle; la partie ancienne est lézardée.

A partir du chemin de fer, la route prend sa largeur normale, 8 mètres de pavé. Les accotements ont une largeur de $1^{m}80$, *à partir des rangées d'ormes*. Les arbres ont de $0^{m}40$ à $0^{m}60$ de diamètre et sont espacés de 8 mètres.

Le chemin α est praticable pour l'artillerie.

Le sentier β est trop étroit pour les voitures.

Etc.

Bruxelles, le 17 février 1892.

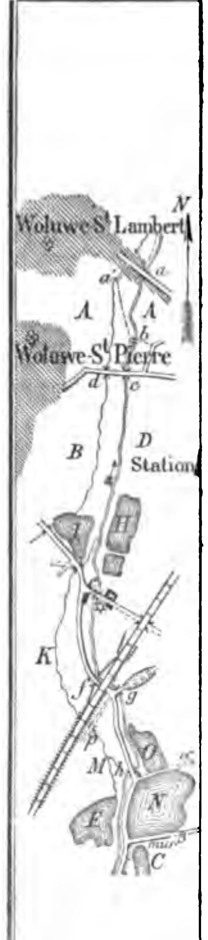
Le lieutenant,
N.

N. B. — Pour pouvoir placer le croquis dans ce livre, il a fallu le réduire de moitié par la photographie. Les rapports se font sur papier propatria.

Remarque. — Le croquis peut être fait plus sommairement, surtout si l'on passe les routes, les chemins pavés et les hâchures indiquant les agglomérations au crayon rouge et les eaux au crayon bleu. Le croquis est fort utile, il permet d'abréger les écritures du mémoire, le rend plus clair, et indique la position exacte des détails dont on parle.

IVe DIVISION.
ETAT-MAJOR.

Reconnaissance de la Woluwe, de Woluwe-Saint-Lambert à Auderghem.



La reconnaissance a pour objet de compléter les renseignements topographiques fournis par la carte au 40.000^e. Transport sur zinc en 1890.

La largeur de la rivière varie de 2 m. à 2^m80, sa profondeur de 0.30 à 0.60 ; le fond du lit est résistant ; les berges sont à pic; les eaux coulent à 1^m00 ou 1^m50 sous le niveau du sol naturel. La vitesse du courant est de 1 mètre. L'eau est claire en temps ordinaire et bonne pour les chevaux.

La vallée est plantée de hauts arbres, ormes ou peupliers, formant un rideau épais qui empêche souvent de voir d'un versant sur l'autre.

a, pont en fer et maçonnerie, solide ; largeur totale 10 mètres ; rivière sous le pont 3 mètres.

a', ruisseau voûté, large de 1 mètre, encaissé de 1^m50.

b, passerelle en bois de 1 mètre de large.

De *a* en *c*, deux épaisses rangées de hauts peupliers sur la rive gauche (rideau).

c, pont en fer et briques, solidement construit ; largeur 6 mètres. Rivière sous le pont 2^m50.

d, ponceau en maçonnerie, 7 mètres de large.

A, *B* et *D*, prairies humides et coupées par des fossés pleins d'eau, de 0.40 à 0.60 de large.

Les arbres ont été abattus de *c* à l'étang *H*, de sorte qu'il y a une trouée de 300 mètres dans le rideau d'arbres, entre le noyau de Saint-Pierre et la station de Woluwe.

I et *H*, étangs nouvellement créés.

e, pont en maçonnerie, solide; largeur 7 mètres : c'est un défilé qu'on ne pourrait élargir.

La rivière est plus large et plus profonde en amont du moulin sur une distance de 150 mètres.

K, prairies très marécageuses.

Double rangée de peupliers de *e* en *f* (rideau).

f, pont aqueduc : rivière 2^m50; pavé 5 mètres.

g, pont en fer de 3^m50 de large ; solide, mais non pavé. Important pour passer du pavé dans un chemin d'exploitation non renseigné sur la carte.

p, ponceau en pierre, praticable aux voitures.

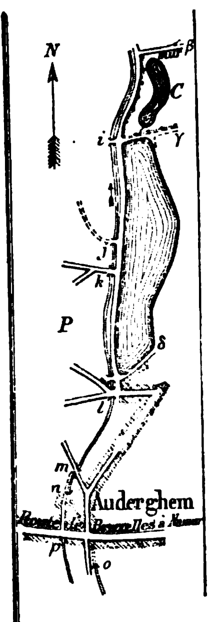
M, prairies humides, coupées par un ruisseau de 1^m25, profondément encaissé ; prairies impraticables aux armes montées en dehors du ponceau *p*.

De *g* en *h*, double rangée de peupliers (rideau).

h, pont en pierre, très bien construit, large de 5^m25; seul passage en cet endroit.

O, *N* et *E*, étangs nouveaux.

Le chemin entre les étangs *O* et *N* ne résisterait pas à un passage prolongé de voitures lourdes.



Chemin β, non pavé, large de 3m50, entre un mur de clôture et l'étang *N*.

C, prairie convertie en parc, traversé par une pièce d'eau de 4 à 6 mètres de large.

γ, chemin de terre, large de 3 mètres.

i, pont en bois: poutrelles en hêtre, largeur 3 mètres. Les culées devraient être réparées.

De *i* en *l*, 3, 4 et 5 rangées d'ormes touffus, de 15 mètres de haut, bordant la rivière et le chemin pavé (rideau très épais).

j, pont en bois, poutrelles en chêne de 0m06, largeur de 3m75.

k, pont en briques, bien construit, large de 5 mètres, non encore pavé.

En face du chemin δ, pont en bois donnant accès dans une cour. On pourrait jeter un autre pont ou construire des rampes pour passer la rivière à gué. La prairie *P* est coupée par de petits fossés pleins d'eau.

l, pont en fer et briques, nouveau, large de 9 mètres.

De *l* en *m*, cinq passerelles en bois de 1 mètre de large.

m, pont en maçonnerie, *nouveau*, large de 7 mètres. Le cours d'eau a 2m25 de largeur sous le pont.

De *l* en *n*, double rangée de hauts peupliers (rideau).

n. Sortie de la rivière et du ruisseau, voûtés dans la traversée du village.

La route de Bruxelles à Namur a une largeur minima de 10 mètres, avec trottoirs, dans la traversée d'Auderghem.

Auderghem, le 24 avril 1892.

Le capitaine commandant,
S.

Remarque. — Pour faire rapidement un croquis, on se sert de trois crayons : noir, rouge et bleu. On passe à l'encre les traits qui doivent rester noirs. (Voyez la note au bas de la page 45 et 2e partie, page 282.)

CINQUIÈME PARTIE

TÉLÉMÉTRIE

Les télémètres sont des instruments destinés à mesurer rapidement la distance qui sépare l'opérateur d'un point inaccessible ou dont l'accès lui est momentanément interdit.

On les emploie presque exclusivement à l'appréciation des distances pour régler le tir de l'artillerie ou le tir de l'infanterie.

Les télémètres sont donc plutôt des instruments d'artillerie que des instruments de topographie : nous laisserons au professeur du cours d'artillerie le soin d'apprécier les services que ces instruments peuvent rendre sur les champs de bataille et nous nous contenterons de décrire en détail, et d'apprendre à manier, les quelques télémètres officiellement adoptés par les Gouvernements.

Tous ces télémètres, à part le télémètre Le Boulengé, sont basés sur le principe suivant :

Donner les moyens de construire sur le terrain un triangle-rectangle dont la distance à mesurer soit l'un des côtés et de déterminer, aussi pratiquement que possible, la longueur de ce côté.

ab ou *ac* étant la distance à apprécier, l'instrument permet de construire et de résoudre rapidement le triangle-rectangle *abc*.

Les deux formules trigonométriques, dont l'emploi est plus fréquent, sont les suivantes :

$$D = B \times \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha}$$

$$D' = B \times \frac{1}{\sin\alpha}$$

Si l'on donne toujours la même longueur de base aux triangles *a b c* construits sur le terrain, B devient un facteur constant dans les formules et le télémètre donne, non pas la valeur en degrés de l'angle α, dont on ne saurait que faire sur le terrain, mais la traduction en chiffres du rapport trigonométrique $\frac{1}{tg\alpha}$ ou $\frac{1}{\sin\alpha}$

Parfois même le télémètre enregistre immédiatement le produit $B \times \frac{1}{tg\alpha}$ ou $B \times \frac{1}{\sin\alpha}$, donne en mètres la distance cherchée.

Au lieu de prendre toujours une base de même longueur, on peut construire des triangles-rectangles semblables, c'est-à-dire dont l'angle au sommet α soit invariablement le même : alors $\frac{1}{tg\alpha}$ ou $\frac{1}{\sin\alpha}$ est un facteur constant dans les formules qui deviennent

$$D = B \times K.$$

On choisit un angle α tel que K soit 50, 100, un chiffre facile pour calculer le produit $B \times K$, et tel aussi que B ait une longueur convenable. B est nécessairement une variable que l'on doit mesurer sur le terrain après avoir construit le triangle.

Télémètre Le Boulengé.

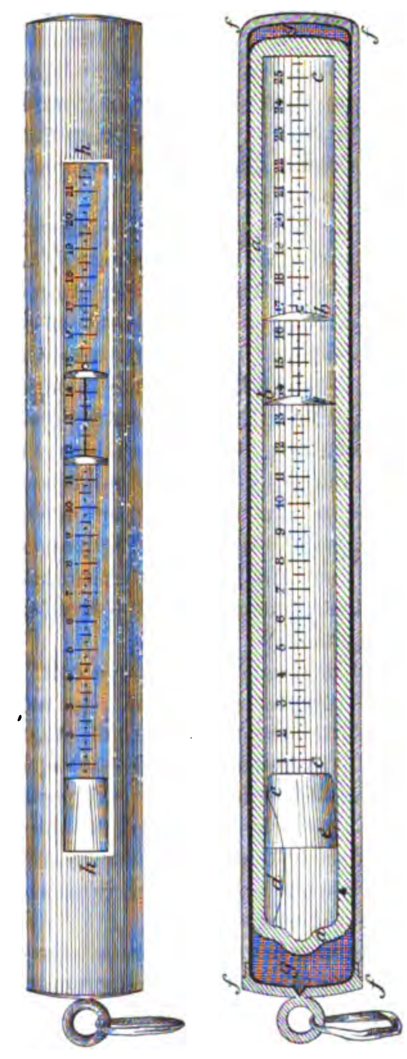
Ce télémètre fut inventé en 1874 par le major d'artillerie belge Le Boulengé, actuellement général commandant une de nos brigades d'artillerie.

L'instrument est destiné à mesurer, dans les combats, la distance de l'ennemi par l'observation de ses coups de feu : *il marque et traduit en distance* l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'apparition de la fumée et l'arrivée de la détonation.

Il se compose d'un tube cylindrique de cristal *a a* d'une seule pièce et fermé hermétiquement.

Le tube est rempli de benzine et renferme un curseur en

argent *b b* formé de deux disques légèrement bombés, réunis par une tige centrale, dont le centre de gravité est en avant.



Le diamètre des disques étant un peu moindre que celui du tube, la résistance du liquide oblige le curseur à descendre d'un mouvement *lent et uniforme*, lorsqu'on place le tube verticalement.

Une échelle *c c*, dont les divisions représentent les distances, est collée au verso du tube et préservée contre l'humidité par une couche de cire.

L'échelle se lit très clairement, car la benzine dans le cristal forme une véritable loupe qui l'éclaire et l'agrandit.

Chaque division de l'échelle vaut 25 mètres; les traits des centaines sont plus grands et chiffrés.

L'espace représentatif d'une distance de 25 mètres est d'environ un millimètre sur l'échelle, de sorte que l'on peut à l'œil estimer l'indication à 5 mètres près.

Une bulle d'air *d*, nécessaire à la dilatation du liquide, et permettant à l'instrument de supporter une température de 50 degrés centigrades sans

éclater, est emprisonnée à l'une des extrémités du tube par une capsule de cuivre *ee* serrée dans le verre. Une mince enveloppe d'ouate garnit cette capsule et assure la capillarité du joint. Avec ce système le liquide mouille toujours le joint et peut donc le traverser; mais, à cause de l'adhérence capillaire, il est impossible, quoiqu'on fasse, d'y faire passer un globule d'air qui, le cas échéant, viendrait troubler la marche du curseur.

Pour préserver le tube de cristal des chocs, il est monté dans une enveloppe résistante *ff* matelassée, aux extrémités de laquelle se trouvent deux tampons de liége *gg*. Le modèle de l'enveloppe varie suivant les convenances particulières ou le service auquel le télémètre est destiné.

Maniement.— Prendre l'instrument par son milieu dans la droite, l'origine des graduations vers le pouce, la fenêtre tournée vers le corps, le pouce en dessous et non fermé, le petit doigt et l'annulaire moins serrés que l'index et le médium afin que l'instrument puisse être tenu bien verticalement.

Amener le curseur à l'origine des graduations.

Placer l'instrument horizontalement, en avançant le pied droit et en tendant le bras droit sans raideur vers l'ennemi. (*En garde.*)

Au moment où l'on aperçoit la fumée d'un coup de feu, faire exécuter au poignet, d'un mouvement vif mais liant, un quart de tour de gauche à droite, ce qui amène le tube dans la position verticale : *le curseur se met alors à descendre.*

Quand la détonation, correspondante au coup de feu dont on a aperçu la fumée, frappe l'oreille, faire exécuter au poignet le quart de tour inverse du précédent, en observant la même cadence : le télémètre est ramené dans la position horizontale et le *curseur s'arrête.*

Amener le télémètre à distance de la vue en pliant le coude sans déranger la position horizontale de l'instrument, ouvrir la main et lire la distance à la face *postérieure* du disque de gauche.

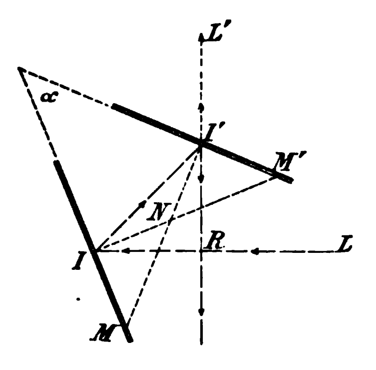
Appréciations. — Ce télémètre est simple, très portatif, très solide, fort exact, fort rapide, d'un maniement mécanique

à la portée de tout le monde ; seulement, pour qu'il soit utilisable, il est nécessaire que l'ennemi fasse feu et que l'on distingue bien la détonation qui appartient au coup dont on a vu l'éclair ou la fumée.

La plupart des artilleries de l'Europe l'ont adopté, mais, depuis l'invention des poudres sans fumée, le télémètre Le Boulengé a perdu beaucoup de sa valeur.

Télémètre Labbez.

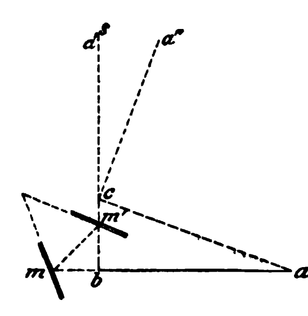
« Le télémètre Labbez, adopté par le ministère de la guerre de France pour l'infanterie, permet de construire, et par conséquent de résoudre, un triangle-rectangle dont on connaît un côté, c'est-à-dire la base mesurée, et l'angle au sommet. Il se compose essentiellement d'un oculaire et d'un système de deux miroirs-plans faisant entre eux un angle de 45°. Quelques-uns de ces instruments, destinés à fournir des résultats d'une plus grande précision, comportent en outre une lunette de Galilée que l'on peut employer seule au besoin.



» M. Labbez, dans la construction de son télémètre, a mis à profit ce principe d'optique : l'angle formé par un rayon lumineux incident et ce même rayon après sa double réflexion est égal au double de l'angle des deux miroirs (2e Partie, p. 90). En effet, soient M et M', deux miroirs-plans faisant entre eux un angle α, et soit LI un rayon lumineux issu du point L, qui vient tomber en I sur le miroir M : ce rayon se réfléchit en faisant avec la normale IM' un angle de réflexion I'IM' égal à l'angle d'incidence LIM' ; il vient ensuite tomber sur le second miroir M' où il fait de nouveau un angle de réflexion RI'M

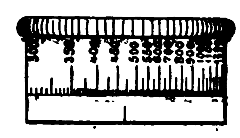
égal à l'angle d'incidence II'M, et l'observateur placé en O voit l'image de l'objet L dans la direction O L'; c'est cette direction qui fait avec le rayon incident L I un angle LRL' double de l'angle α. Pour le démontrer, remarquons que l'angle LRL', extérieur au triangle II'R est égal à la somme des angles I'IR et II'R; d'autre part, l'angle INM, des deux normales, qui est extérieur au triangle II'N, est égal à la somme des angles II'N et I'IN, ou, ce qui revient au même, à la demi-somme des angles I'IR et II'R, puisque les deux normales sont en même temps bissectrices des deux angles; or, l'angle INM, dont les côtés sont respectivement perpendiculaires à ceux de l'angle α, est lui-même égal à α, et l'angle LRL' est bien double de l'angle α. — Il résulte de là que, si l'on prend $\alpha = 45°$, l'angle LRL' sera droit; c'est précisément la condition qui est réalisée dans le télémètre Labbez.

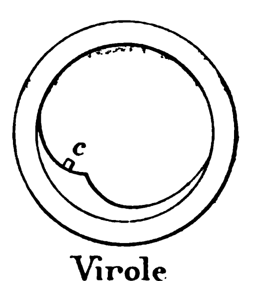
» Cela posé, soit à mesurer la distance *b a*. L'opérateur étant en station au point *b* se place de façon à avoir le point *a* à sa droite : de cette manière, il le verra devant lui par réflexion en *a'* sur la perpendiculaire *b a'* à *b a*. Ayant choisi un point de repère ou signal *s*, situé au loin dans la direction *b a'*, il se porte en avant et mesure une base *b c* égale 30 mètres. Arrivé en *c*, il se place de nouveau de façon à avoir le point *a* à sa droite : il l'aperçoit alors par réflexion en *a''* sur la perpendiculaire *c a''* à *c a*. Les deux angles *c a b* et *a''c a'* sont égaux, comme ayant leurs côtés respectivement perpendiculaires, et le problème revient à mesurer le dernier de ces angles : c'est à quoi on parvient assez rapidement au moyen du télémètre, lequel non seulement mesure l'angle, mais donne la distance *b a* qu'il suffit de lire sur une graduation disposée à cet effet, et dont les résultats sont calculés en supposant la base *b c* égale à 30 mètres.



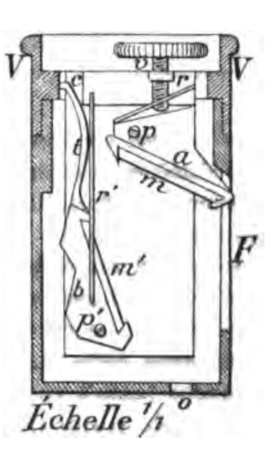
Le télémètre Labbez est de forme cylindrique. Il se compose

essentiellement de deux miroirs m et m', placés sur une platine métallique et logés dans le cylindre, qui font entre eux un angle de 45°, et qui peuvent exécuter de petits mouvements angulaires autour des pivots p et p'.





Virole



Échelle 1/1

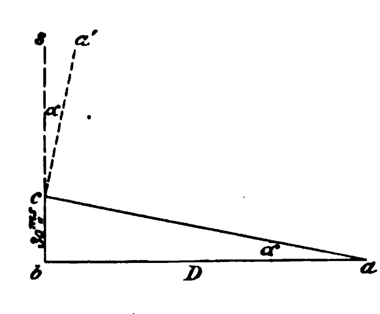
Le cylindre est entouré à sa partie supérieure d'une virole V V qui tourne à frottement doux autour de son axe. Le miroir m, porté par une pièce a de forme trapézoïdale dont il est solidaire, et maintenu par un ressort r, peut être mis en mouvement au moyen de la vis v. Quand au miroir m', il est fixé sur un bras mobile b à l'extrémité duquel se trouve une tige t maintenue. par un ressort r', en contact avec la surface intérieure de la virole; cette surface est découpée suivant une forme excentrique, et c'est son mouvement de rotation qui, en poussant la tige t, fait tourner le miroir m' autour du pivot p'. Ce mouvement du miroir sert à mesurer l'angle au sommet du triangle-rectangle.

Le cylindre qui constitue l'enveloppe du télémètre présente à la partie antérieure un cran de visée, et à la partie postérieure un oculaire o; à droite se trouve une fenêtre latérale F. L'opérateur qui regarde par l'oculaire voit dans le miroir m l'image des objets placés à sa droite, et *au-dessus* de ce miroir, par le cran de visée, les objets situés en avant.

La partie antérieure du cylindre est munie d'un repère fixe devant lequel se présentent successivement les graduations gravées sur la virole. Ces graduations, qui vont de 300 à 8,000

mètres, donnent la valeur de la distance pour une base de 30 mètres ; elles sont indiquées de 50 en 50 mètres jusqu'à 500 mètres, de 100 en 100 mètres jusqu'à 3,000 mètres, et de 500 en 500 mètres jusqu'à 8,000 mètres. Enfin l'instrument est complété par un sac en peau, dans lequel on peut le renfermer, et par une bobine sur laquelle est enroulé un fil de soie destiné à mesurer la base.

Pour faire usage du télémètre, on commence par s'assurer que les deux miroirs font un angle de 45°, ce qu'il est facile de reconnaître au moyen de traits de repère disposés à cet effet. On saisit l'instrument entre le pouce et les deux premiers doigts de la main gauche, et on le porte à l'œil droit, en ayant soin de tourner la fenêtre latérale vers le point *a* dont on veut connaître la distance du point *b* où l'on stationne ; on pose le pouce sur le nez, l'index et l'instrument contre l'arcade sourcilière; de cette façon, on obtient une immobilité suffisante. Après quelques tâtonnements, l'opérateur finit par apercevoir l'image du point *a* dans le miroir *m*, et il l'amène en contact avec le bord supérieur de ce miroir; à ce moment, il voit deux paysages : dans le miroir le paysage qui est à sa droite et au-dessus, par le cran de visée, le paysage qui est en face de lui. L'opérateur choisit au loin, sur le prolongement de l'image obtenue, un signal *s* bien distinct. S'il ne rencontre aucun objet remarquable exactement dans cette direction, il se déplace un peu à droite ou à gauche jusqu'à ce qu'il en aperçoive un, — ou bien, sans changer de position, il tourne un peu la vis dentée *v* avec la main droite, de façon à déplacer un peu le miroir *m* ; ce déplacement du miroir *m* affecte, il est vrai, le résultat d'une petite erreur, mais, s'il n'a pas tourné d'un angle supérieur à 4°, l'erreur ne dépasse pas un centième, et peut être négligée. Cela fait, l'opérateur se porte en avant vers le signal *s*, en



se maintenant dans l'alignement *b s*, et mesure au pas une base *bc* = 30 mètres; s'il désire une plus grande approximation, il effectue cette mesure au moyen du fil de soie qui fait partie du matériel du télémètre. A cette nouvelle station *c*, l'opérateur se place encore de façon à amener le point *a*, dont il cherche la distance, en contact avec le bord supérieur du miroir *m*. La direction suivant laquelle il voit alors l'image de ce point se trouve à droite du signal *s*. Tournant alors la virole mobile de droite à gauche, il déplace peu à peu le miroir *m'*, jusqu'à ce qu'il aperçoive le point *a* dans la direction exacte du signal *s*. Il ne reste plus alors qu'à lire la distance sur la graduation qui se trouve en face du trait de repère gravé sur le corps de l'instrument.

« Pour plus de précision, on peut, à la deuxième station, prendre successivement deux ou trois fois de suite la coïncidence des images et prendre la moyenne des résultats obtenus.

» Lorsque la distance à mesurer ne dépasse pas 1,500 mètres, on peut se contenter d'une base de 15 mètres; dans ce cas, la distance cherchée sera égale à la moitié de celle indiquée sur la virole. La base de 30 mètres convient pour les distances de 1,500 à 4,000 mètres; au-dessus de cette distance, il est préférable de prendre une base de 60 mètres, alors il faut doubler le résultat fourni par la virole. (Petite bibliothèque de l'armée française. *Cours de topographie* par A. LAPLAICHE.)

Appréciations. — Le maniement du télémètre LABBEZ n'est pas facile : la difficulté d'amener, puis de maintenir les miroirs dans la position voulue pour apercevoir le but (2e Partie p. 90) est aggravée par la nécessité d'imprimer des mouvements de rotation à la roue dentée ou à la virole; les deux mains de l'opérateur doivent combiner leurs efforts entre elles et avec la résistance de la roue dentée ou de la virole. Bien manié, l'instrument donne d'assez bons résultats.

Ce télémètre est solide mais incommode à transporter par l'officier qui doit s'en servir; il est aussi, relativement, très pesant (170 grammes sans la gaîne et le cordeau); il coûte 40 francs.

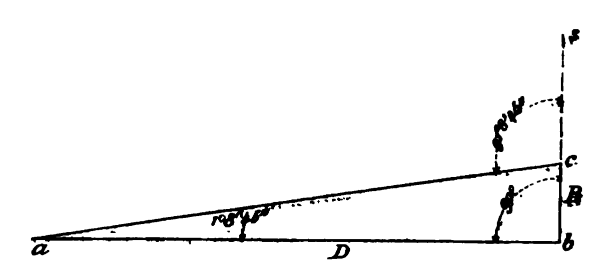
Dans l'armée française il n'existe qu'un télémètre LABBEZ

par bataillon, ce qui fait naturellement qu'on ne s'en sert pas du tout.

Télémètre Stroobants.

Ce télémètre est en service dans l'armée belge, il fait partie du matériel réglementaire de toutes les compagnies d'infanterie. (*Règlement provisoire sur l'instruction du tir de l'infanterie*. Bruxelles 1894.

Principe. — $a\,b$ étant la distance à mesurer, on construit sur le terrain un triangle-rectangle $a\,b\,c$.



$$a\,b = \frac{1}{\operatorname{tg} a} \times b\,c \quad \text{ou} \quad D = \frac{1}{\operatorname{tg} a} \times B.$$

Les angles du triangle sont construits à l'aide du télémètre, ils sont *invariablement* les mêmes, quelle que soit D, et tels que le rapport trigonométrique $\frac{1}{\operatorname{tg} a}$ est 50.

La formule générale donnant la distance devient dès lors

$$D = 50 \times B.$$

Les angles étant constants, B varie nécessairement avec D.

Le triangle-rectangle $a\,b\,c$ étant construit, comme nous l'indiquerons plus loin, il suffit de mesurer sa base B, au moyen d'un cordeau ou simplement au pas, et de la multiplier par 50 pour avoir la distance D.

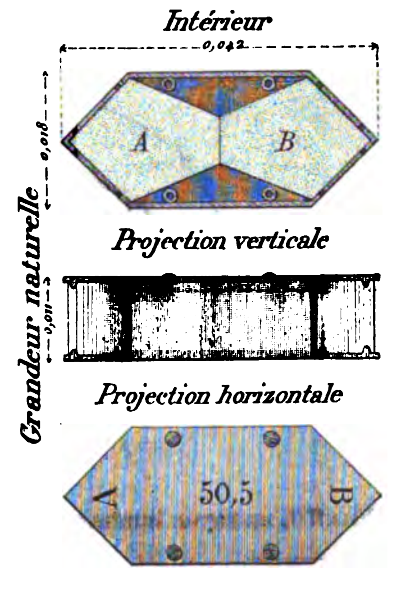
50 est ce que l'on appelle le *coëfficient* du télémètre (1).

Pour que le rapport trigonométrique $\frac{1}{\text{tg}\, a}$ soit 50, le calcul prouve que l'angle a doit être égal à 1°8'45", ce qui fait que l'angle extérieur

$$a\,c\,s = 91^\circ 8' 45''.$$

Le télémètre sert, en réalité, à construire l'angle droit b et l'angle extérieur $a\,c\,s$.

Description et théorie de l'instrument. — Le télémètre, représenté en grandeur naturelle par les figures ci-contre, se compose de deux petits prismes A et B taillés dans du verre ordinaire. Les prismes sont fixés à demeure dans une armature légère en cuivre noirci; leurs faces à angle droit sont seules à découvert et sont protégées par une petite saillie de la garniture.



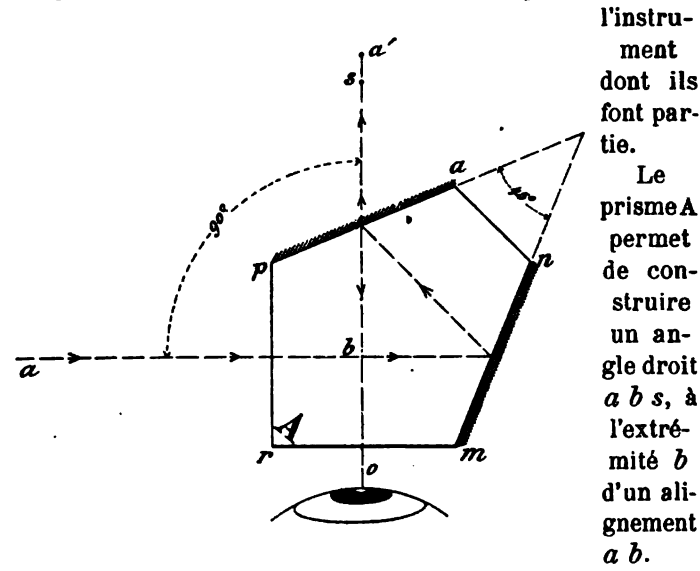
Les prismes, primitivement de section quadrangulaire (voyez les fig. des pages 60 et 62), sont en réalité de section pendagonale, parce que l'on a enlevé la partie $q\,n\,v$, qui est inutile, afin de diminuer le volume de l'instrument.

(1) Le coëfficient de tous les télémètres n'est pas exactement 50. Le Département de la Guerre de Belgique a accepté les instruments dont le coëfficient ne descendait pas sous 47 ou ne dépassait pas 53. Les coëfficients ont été

Les deux prismes ont chacun un angle dièdre droit *r* et sont en apparence identiques, mais l'angle opposé à l'angle droit, et dont le sommet a été tronqué, est de 45° dans le prisme A, tandis qu'il est de 45°22′55″ dans le prisme B.

Les faces des deux prismes formant les angles de 45° et de 45°22′55″ sont soigneusement argentées, elles constituent par conséquent deux couples de miroirs.

Pour plus de clarté dans notre étude, nous allons examiner successivement les propriétés des deux prismes et l'usage que l'on peut en faire isolément, sans nous occuper d'abord de l'instrument dont ils font partie.



Le prisme A permet de construire un angle droit *a b s*, à l'extrémité *b* d'un alignement *a b*.

En effet, un rayon lumineux partant d'un objet *a*, et entrant

recherchés *expérimentalement*, pour chacun des 255 télémètres en service dans l'infanterie, par l'inventeur aidé de M. le capitaine Couturieaux, du 9ᵉ de ligne : ces officiers ont mesuré, au moyen d'observations faites au théodolite, la distance de 1506 mètres qui sépare le clocher d'Etterbeek d'un terrain convenable pour établir la base de leurs opérations ; les coëfficients ont été gravés immédiatement sur les montures des télémètres et des tables, dont nous donnerons plus loin des spécimens, ont ensuite été collées dans les boites en vue de supprimer tout calcul sur le terrain.

normalement dans le prisme, subit sur la face étamée *m n* une première réflexion, puis une seconde réflexion sur la face *p q*, et sort du prisme dans une direction perpendiculaire à la direction initiale *a b*. Le prisme fonctionne simplement comme un couple de miroirs à 45° (2e Partie, pages 91 et 94) ; l'œil d'un observateur, placé en *o*, voit donc l'image doublement réfléchie de *a* dans une direction *o a'* telle que l'angle *a b a'* est droit.

Remarque. — Il est facile de démontrer qu'il n'est pas nécessaire que le rayon *a b* soit absolument normal à la face *p r* : s'il ne fait que quelques degrés avec la normale à cette face, il y aura compensation entre la réfraction à l'entrée et la réfraction à la sortie. Dans la pratique, on amène l'image exactement au milieu de *r m* et dès lors *p r* est perpendiculaire à *a b*.

a étant un jalon (un signal quelconque), *b* le point sur lequel on stationne, si l'on veut construire un angle droit dont l'alignement *a b* soit l'un des côtés et *b* le sommet, on saisit le prisme A entre le pouce et l'index de la main droite du côté de l'angle de 45°, on amène la face *r m* vis-à-vis de son œil et la face *p r* perpendiculairement à la direction *a b* : on voit alors le jalon *a* par double réflexion devant soi en *a'* sur une perpendiculaire à *a b*. Si l'on regarde *en même temps dans le prisme et au-dessus du prisme* dans la campagne et si l'on fait planter un jalon *s* dans le prolongement de l'image *a'* du jalon *a*, on aura construit, *sur le terrain*, un angle droit *a b s* (1).

Le prisme B permet de construire un angle *a c s* = 91°8'45", à l'extrémité d'un alignement *a c* (2).

Un rayon lumineux pénétrant dans le prisme B, p. 62, sous un angle convenable, est réfléchi sur les deux faces argentées, comme dans le prisme A, et l'angle formé en I, *à l'intérieur du prisme*, par le rayon incident et le rayon doublement réfléchi, est égal à

$$2 \times 45°22'55'' \text{ ou } 90°45'50'';$$

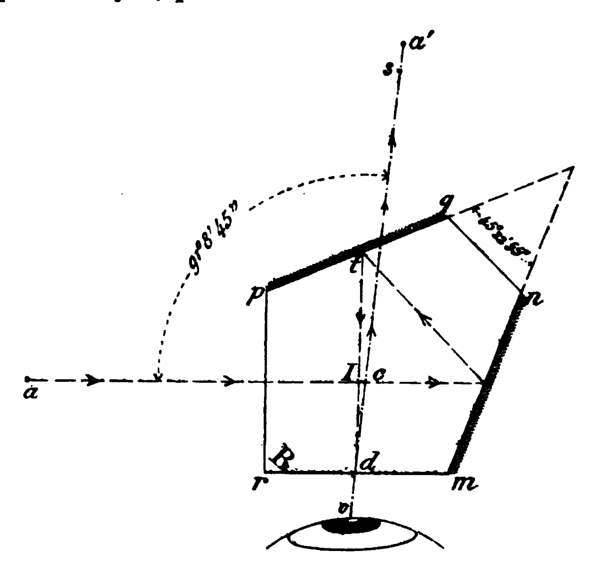
(1) L'angle droit du triangle-rectangle *a b c* de la page 58.

(2) L'angle extérieur *a c s* du triangle *a b c* de la page 58.



mais, à la sortie du prisme B, il faut compter avec l'indice de réfraction du verre, parce que le rayon lumineux sort du prisme sous un angle qui diffère de celui sous lequel il y a pénétré.

Supposons, pour simplifier la démonstration et le calcul, que le rayon incident pénètre dans le prisme B normalement à la face *p r*. Ce rayon, qui ne subira aucune déviation en entrant



dans le verre, se réfléchira sur la face *m n*, puis sur la face *p q*, et formera un angle *t I a* double de l'angle des faces argentées, c'est-à-dire un angle de 90°45'50".

Le rayon doublement réfléchi *t d* n'est donc pas perpendiculaire à la face *r m* qu'il va traverser pour sortir du prisme et subira, du fait de son inclinaison, une déviation qui dépend de l'indice de réfraction 3/2 du verre et qui est calculée dans la note (1) au bas de cette page.

$$r\,d\,s = a\,c\,s = 90° + \frac{3 \times (45'50'')}{2} = 91°8'45''.$$

(1) Par l'effet de la double réflexion $t\,I\,a = 2 \times 45°22'55'' = 90°45'50''$

L'œil, placé en *o*, reçoit le rayon lumineux doublement réfléchi et *réfracté*, et voit l'image de l'objet *a* dans une directiou *o a'*, qui fait avec le rayon incident *a c* un angle

$$a\,c\,s = 91°8'45''.$$

Le prisme B permet donc de construire un angle *a c s* = 91°8'45'' identiquement de la même manière que le prisme A permet de construire un angle de 90°.

On peut aussi résoudre, à l'aide du prisme B, le problème suivant que l'on applique à la construction du triangle-rectangle *a b c*, page 58 : l'angle droit *b* étant construit à l'extrémité *b* du côté *a b*, au moyen du prisme A, déterminer sur l'alignement *b s* (perpendiculaire à *a b*) un point *c* tel que l'angle *a c s* soit égal à 91°8'45''.

L'opération se fait par tâtonnements. On tient le prisme B

L'angle *t d r* = *t I a*, puisque nous avons supposé que le rayon *a I* pénètre dans le prisme normalement à la face *p r*, qui forme avec la face *r m* un angle dièdre droit.

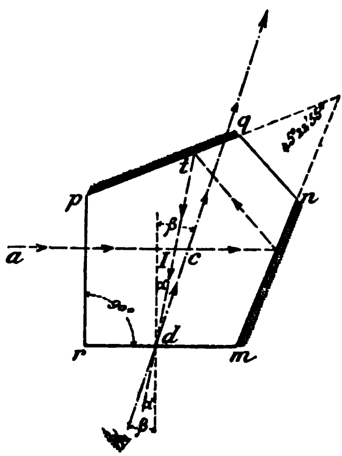
Si nous élevons en *d* une normale à la face *r m*,

$\alpha = 90°45'50'' - 90° = 45'50''$.

Le rayon lumineux passant du verre dans l'air, d'un milieu plus dense dans un milieu moins dense, s'écartera de la normale,

β sera $> \alpha$.

Calculons β, sachant que l'indice de réfraction du verre est de 3/2, c'est-à-dire que $\dfrac{\sin\beta}{\sin\alpha} = \dfrac{3}{2}$



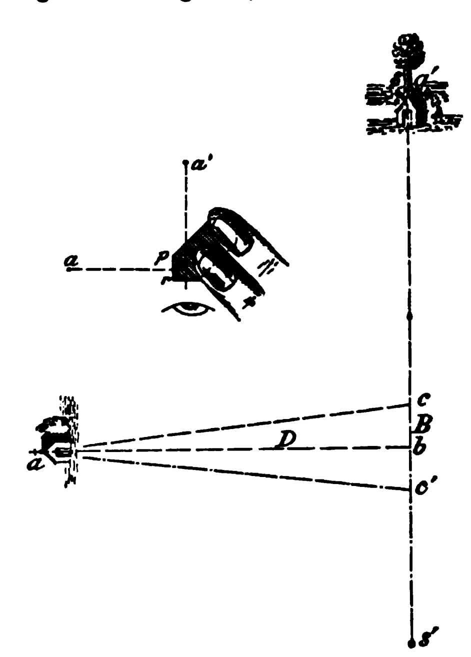
Les angles étant très petits, nous pouvons remplacer les sinus par les arcs.

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{3}{2} \text{ d'où } \beta = \frac{3\alpha}{2}$$

$$\text{Or, } \alpha = 45'50'' \text{ d'où } \beta = \frac{3\times(45'50'')}{2} = 1°8'45''$$

$$a\,c\,s = 90° + \beta = 91°8'45''.$$

de la main droite, comme il a été dit; on marche de *b* vers *s*, en se maintenant ***rigoureusement*** dans l'alignement *b s*; on s'arrête quand on croit se trouver au point *c* que l'on cherche, on regarde à la fois dans le prisme et au-dessus de celui-ci, et l'on examine si l'image *a'* du signal *a* vient se former dans le prolongement du signal *s*; si l'image *a'* se présente à droite ou à gauche du signal *s*, on avance ou on recule ***sur l'alignement b c*** jusqu'à ce que l'on obtienne une coïncidence parfaite de l'image *a'* et du signal *s* : le point *c* est alors déterminé et le triangle *a b c* est construit sur le terrain.



Ces préliminaires étant établis, passons au

Mode d'emploi pratique du télémètre. — Une compagnie d'infanterie a pris position au point *b*, l'artillerie ennemie se met en batterie à hauteur d'une petite chapelle *a*, que l'on distingue ***nettement*** du point *b* (1).

Le commandant de la compagnie doit donc apprécier la distance D qu'il y a entre la chapelle *a* et le point

(1) Il y aura généralement, à hauteur de la position occupée par l'adversaire, un objet bien défini, constituant un excellent signal : chapelle, arète de bâtiment, cheminée, poteau télégraphique, arbre ou arbrisseau, branche plus élevée dans une haie, trouée dans une clôture, angle d'un champ couvert de végétation de couleur tranchante, etc.

b qu'il occupe, afin de faire choix d'une hausse convenable.

Le télémètre va lui permettre de construire rapidement un triangle rectangle *a b c*, dans lequel

$$a\,b = 50 \times b\,c$$
$$D = 50 \times B$$

Le commandant de compagnie ou un de ses subordonnés (1) placera ses épaules dans l'alignement *b a*, l'épaule gauche vers *a*; saisira le télémètre du côté du prisme B entre le pouce et les deux premiers doigts de la main droite, en ayant soin de ne pas avancer l'index au delà de la moitié du prisme A ; regardera dans le prisme A, tenu à 3 ou 4 centimètres de son œil droit, comme il a été indiqué plus haut, et verra l'image de la chapelle *a* devant lui dans la direction *a'*, sur une perpendiculaire à l'alignement *a b* (2).

L'image *a'* viendra en coïncidence avec un signal naturel quelconque que l'opérateur apercevra dans la campagne en regardant *en même temps* dans le prisme et au-dessus du prisme; l'image de la croix de la chapelle viendra se former, dans l'exemple de la figure, sur le tronc d'un arbre *s* (3).

---

(1) La vue de beaucoup de commandants de compagnie laisse à désirer : en général, à notre avis, les opérations télémétriques doivent être confiées à de jeunes officiers, à des sous-officiers, à des caporaux, voire même à des soldats. Nous avons remarqué que des soldats, auxquels nous avions eu d'abord quelque peine à faire saisir le maniement du télémètre, opéraient ensuite avec une précision mathématique : cela s'explique, ils avaient de bons yeux et suivaient ponctuellement les prescriptions que nous leur avions inculquées.

(2) On ne doit voir qu'une seule image de *a*; cette image doit être parfaitement nette, fixe et apparaître au milieu d'un large paysage. Si l'on voyait plusieurs images, ou si l'image changeait de position lorsqu'on dérange légèrement l'œil, ce serait un signe que le télémètre est mal tenu. Les longs côtés de l'instrument, lorsqu'il est bien tenu, font 45° avec la droite sur laquelle on élève une perpendiculaire.

(3) Le signal naturel remplace le jalon que nous avons fait planter en donnant la théorie du prisme *A*.

Il est de toute importance que ce signal, aussi bien que le but *a*, se profile franchement à l'horizon, se présente à l'observateur sous la forme d'une ligne

Si l'image ne se formait pas exactement sur un signal bien net, l'opérateur se déplacerait, en appuyant à droite ou à gauche, ou en se portant en avant ou en arrière, jusqu'à ce qu'il fût absolument satisfait.

La perpendiculaire *b s* étant déterminée, l'opérateur retournera l'instrument bout pour bout, le saisira du côté A pour utiliser le prisme B; marchera vers l'arbre *s*, en se maintenant bien sur l'alignement *b s* (1); regardera de temps en temps dans le prisme B et s'arrêtera lorsque l'image de la croix de la chapelle reviendra en coïncidence *parfaite* avec le tronc de l'arbre *s* : il sera alors au point *c* et le triangle-rectangle *a b c* sera construit.

Il suffira de mesurer la base B du triangle au pas ou à l'aide d'un décamètre ruban pour avoir la distance, car

$$D = 50 \times B.$$

Si le paysage était peu profond du côté *s*, si l'on ne trouvait pas de signal convenable dans cette direction, ou si le terrain ne convenait pas pour établir et mesurer la base *bc* du triangle, l'opérateur ferait demi-tour, *saisirait le télémètre de la main gauche* et construirait le triangle *abc'* dans la direction opposée.

S'il ne se présentait aucun signal convenable à l'horizon, l'opérateur enverrait un soldat à 200 ou 300 mètres, le plus loin possible, dans la direction de la perpendiculaire qu'il veut

---

verticale ou d'un point bien net : ce sera un arbre isolé ou facile à reconnaître, une arête de bâtiment, un paratonnerre, une cheminée de fabrique, la flèche d'une église, un poteau télégraphique..... Plus le signal *s* sera éloigné de l'opérateur, plus la précision des opérations sera grande.

(1) Il est nécessaire que l'opérateur se tienne rigoureusement dans l'alignement *b s*, il choisit, à cette fin, des points intermédiaires entre *b* et *s*. Un commandant de compagnie pourra envoyer un soldat à une centaine de mètres dans la direction du signal *s* et lui faire tenir verticalement son fusil, en guise de jalon, dans l'alignement *b s* ; ce soldat fera face à l'opérateur pour exécuter les mouvements qui lui seront indiqués, par signes, tiendra son fusil de la main droite par le bout du canon et tendra le bras droit de façon à ne pas masquer le signal *s*.

élever sur *a b*; ce soldat lui ferait face et tiendrait son fusil bien haut et bien verticalement devant lui : l'opérateur le déplacerait à droite ou à gauche, par signes, jusqu'à ce que le fusil fut exactement sur la perpendiculaire que lui donne l'instrument. (Au besoin, il se déplacerait lui-même un peu pour faciliter l'opération.)

Si l'on voulait opérer avec facilité et précision, on placerait ensuite un second soldat dans l'alignement du premier. On serait alors certain de rester rigoureusement dans l'alignement, en se portant en avant, ce qui est tout à fait indispensable et malheureusement assez difficile. Nous recommandons cette méthode à ceux qui n'ont pas l'habitude de manier des télémètres.

On peut opérer en reculant sur la base *b c* au lieu d'opérer en avançant, comme nous venons de l'indiquer, et cette manière de faire est celle que nous trouvons la meilleure et la plus pratique : on construit d'abord l'angle extérieur *a c s* du triangle, au moyen du prisme B; on fait tenir verticalement un fusil en *c*, en guise de jalon, le soldat qui le tient se plaçant en dehors de l'alignement pour ne pas masquer le signal; on recule sur *s c* jusqu'à ce que, par tâtonnements, on obtienne le point *b* au moyen du prisme A. On se maintient ainsi très facilement sur l'alignement *c s*, et l'on mesure rapidement la base au pas en se reportant en avant (1). A défaut d'aide, on plante son sabre ou un jalon improvisé au point *c*.

Accessoires. — Pour éviter que les faces à angle droit des prismes soient endommagées par les objets que l'on porte

---

(1) Il paraîtra sans doute étonnant, à celui qui ne s'est jamais beaucoup exercé au maniement d'un télémètre, que nous entrions dans tous les détails d'exécution et que nous attachions en particulier tant d'importance aux précautions qu'il est nécessaire de prendre pour rester dans l'alignement : nous savons par expérience que quatre-vingt-dix pour cent des opérateurs qui ne réussissent pas, pèchent dans les détails d'exécution.

Les essais que nous faisons faire sous nos yeux, en choisissant des signaux convenables, par des personnes non exercées qui ont une bonne vue, donnent une moyenne d'erreurs qui n'atteint pas trois pour cent.



d'habitude en poche, tels que canif, monnaie, trousseau de clefs, etc., et que ces faces se ternissent ou se sâlissent, le télémètre est placé dans une boîte légère en cuivre noirci. ayant la forme de l'instrument.

La boîte des télémètres belges ne pèse que 15 grammes.

L'indice de réfraction du verre n'est pas exactement 3/2, la composition du verre n'est pas toujours homogène et les prismes, dont la construction est délicate, ne sont pas toujours taillés mathématiquement, il en résulte que le coefficient n'est pas exactement 50 pour tous les télémètres : on recherche *expérimentalement* le coefficient de chaque instrument et on le grave sur une de ses bases. (Voyez le renvoi de la page 59.)

Pour supprimer les calculs sur le terrain, on établit des tables du modèle ci-contre, et on les colle à l'intérieur de la boîte du télémètre.

N°153
D = 50,5 B

10	505	22	1111
11	556	23	1162
12	606	24	1212
13	657	25	1263
14	707	26	1313
15	758	27	1364
16	808	28	1414
17	859	29	1465
18	909	30	1515
19	960	31	1566
20	1010	32	1616
21	1061	33	1667

TÉLÉMÈTRE
Stroobants

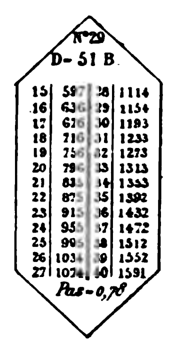
N°153
D = 50,5 B

34	1717	46	2323
35	1768	47	2374
36	1818	48	2424
37	1869	49	2475
38	1919	50	2525
39	1970	51	2576
40	2020	52	2626
41	2071	60	3030
42	2121	70	3535
43	2172	80	4040
44	2222	90	4545
45	2273	100	5050

TÉLÉMÈTRE
Stroobants

On peut remplacer ces tables par d'autres du même genre, par une table donnant les distances *en mètres d'après le nombre de pas* compris dans la base, par exemple.

On étalonne à cet effet soigneusement son pas et l'on construit *sa table personnelle*, beaucoup plus pratique que les précédentes lorsqu'on mesure la base au pas, comme cela se fait d'habitude.



N°29
D = 51 B

15	597	28	1114
16	636	29	1154
17	676	30	1193
18	716	31	1233
19	756	32	1273
20	796	33	1313
21	835	34	1353
22	875	35	1392
23	915	36	1432
24	955	37	1472
25	995	38	1512
26	1034	39	1552
27	1074	40	1591

Pas = 0,78

Soient : 51 le coefficient de l'instrument;

n le nombre de pas compris dans la base B;

p la longueur d'un pas :

on aura, $D = 51\, n p$ mètres,

ou $D = (51\, p)\, n$

$(51.p)$ devient le coefficient constant par lequel

on multipliera le nombre de pas *n*, qu'on aura comptés dans la base *B*, pour avoir la distance *D* en mètres.

On construit une table du modèle ci-contre. Dans la 1re colonne on lit le nombre de pas, et, vis-à-vis dans la seconde, la distance en mètres correspondante à ce nombre de pas.

Exemple : Le lieutenant Z a un pas de 0m78.

$$D = (51.\,p)\,n = (51 \times 0.78)\,n = 39.78 \times n.$$

En faisant varier *n* il aura sa table.

Remarque. — Si le lieutenant Z n'avait pas construit sa table, il pourrait remplacer, sans inconvénient pratique, le coefficient 39 78 par 40, et *sa formule personnelle* serait

$$D = 40\,n \text{ mètres.}$$

Appréciations. — Nous ne pouvons émettre une opinion personnelle sur notre propre instrument.

Nous avons eu la satisfaction de le voir adopter en Belgique.

De Militaire Spectator de Bréda donne, dans son n° 5 de 1895, une étude fort intéressante sur les télémètres d'infanterie : l'auteur, après avoir établi une comparaison entre le télémètre SOUCHIER et le télémètre STROOBANTS, termine ainsi :

« Ces deux télémètres, qui peuvent être considérés comme les meilleurs du genre, ont une valeur sensiblement égale : ce sont deux instruments très simples et très pratiques après quelques exercices. »

Il est incontestable que la forme et le poids de notre instrument en font un véritable *télémètre de poche :* il pèse moins de 25 grammes sans la boîte, dont le poids est de 15 grammes, avons-nous dit. Il est précis, *indéréglable*, simple, d'un maniement qui nous paraît très facile. Sa portée s'étend jusqu'aux limites de la vue de l'opérateur, mais elle peut être augmentée de beaucoup si l'on fixe le télémètre sur des jumelles, comme nous le dirons à propos du télémètre SOUCHIER.

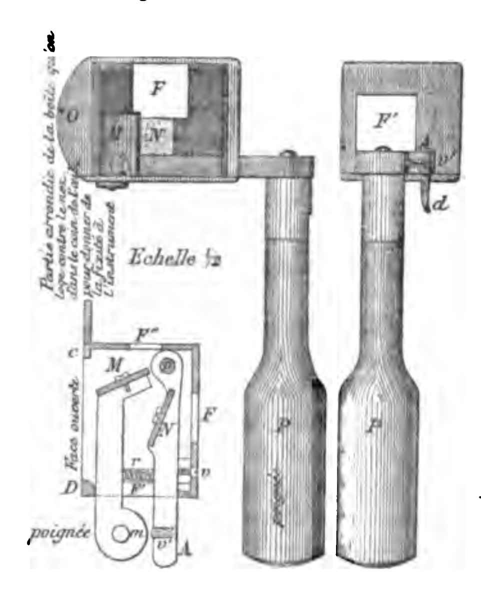
Les télémètres en service en Belgique ont été payés fr. 17.80 pièce.

Télémètre Roksandic.

Ce télémètre fut inventé, il y aura bientôt vingt ans, par le lieutenant Roksandic, de l'armée autrichienne qui l'adopta. Si nous sommes bien renseignés, il est en service depuis un an ou deux en Bulgarie.

La Revue belge d'art, de sciences et de technologie militaires, tome II de 1878, donne déjà une description de cet instrument, dans une intéressante *Etude sur les télémètres de campagne*, par le capitaine d'état-major V. Ducarne.

Le principe géométrique sur lequel repose le télémètre Roksandic est identiquement le même que celui sur lequel repose le télémètre Stroobants. Ce dernier peut être regardé comme un perfectionnement du télémètre autrichien.



Description et théorie. — Le télémètre Roksandic est basé sur les propriétés d'un couple de miroirs métalliques M et N.

L'angle dièdre formé par ces miroirs est, à volonté, de 45° ou de 45°34'22".

Le couple peut ainsi, par double réflexion, servir à construire sur le terrain des angles de 90° et de 91°8'44". (Voyez page 90 de la 2ᵉ Partie et pages 53 et 60 de la 3ᵉ Partie.)

L'instrument est assez grossièrement fabriqué, d'une grande

solidité et d'un maniement des plus faciles. On pourrait le rendre plus léger et moins volumineux, partant plus pratique.

Il se compose d'une petite chambre cubique en cuivre noirci, de 2 1/2 à 3 centimètres de côté, fixée sur une poignée en bois de près de 10 centimètres de longueur.

Les figures représentent l'instrument réduit de moitié.

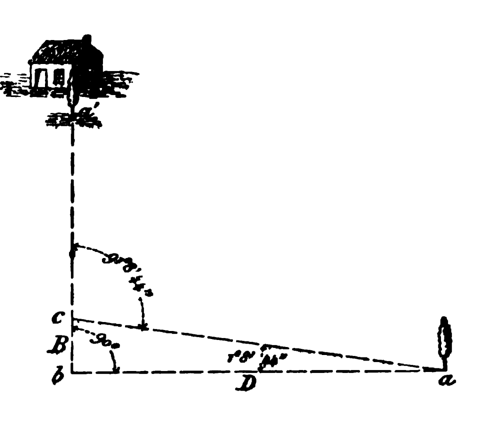
Sur le fond de la chambre sont accouplés les deux miroirs M et N.

Le miroir M est fixe, tandis que le miroir N, faisant corps avec un levier *p*A, peut se mouvoir légèrement autour d'un axe *p*.

Un ressort à boudin *r* maintient les miroirs à l'angle maximum de 45°34'22", en pressant le levier A*p* contre une vis butante *v*.

Si l'on force le ressort à boudin, en appuyant avec l'index de la main droite, qui tient la poignée, sur la détente *d* du levier A*p*, la vis *v'* vient en contact en *m* avec la virole de la poignée, et l'angle des deux miroirs, diminué, n'est plus alors que de 45°.

L'œil droit s'applique au milieu de la face ouverte *c* D de la petite chambre, voit directement dans la campagne au-dessus des miroirs par une fenêtre F, ménagée dans la face opposée, et par double réflexion dans les miroirs à droite, par une autre fenêtre F' pratiquée au-dessus de la poignée.



Mode d'emploi. — Il s'agit de mesurer la distance *a b* = D.

Se placer au point *b*, les épaules dans l'alignement *b a*, l'épaule droite vers *a;* tenir l'instrument verticalement par la

poignée; appliquer l'œil droit au milieu de la face *c*D, la partie arrondie O de la boîte contre le nez dans le coin de l'œil, le coude droit au corps; appuyer avec l'index sur la détente *d* du levier, de façon à amener les miroirs à 45°.

Chercher le signal *a* par double réflexion dans les miroirs; noter un objet très éloigné *s* vu directement dans la campagne par la fenêtre F et avec lequel l'image de *a* vient en coïncidence. L'angle *abs* est un angle droit.

Marcher sur *bs*; lâcher la détente *d*, de façon à ce que le ressort à boudin *r*, agissant sur le levier, les miroirs fassent un angle de 45°34′22″; chercher par tâtonnements le point *c*, sur l'alignement *bs*, d'où l'on voit de nouveau l'image de *a* en coïncidence avec le signal *s*. L'angle *acs* est alors de 91°8′44″.

$$D = 50 \times B.$$

On peut opérer en reculant, voyez le télémètre précédent, et même construire le triangle dans la direction opposée, en appliquant l'œil au-dessus de la poignée à la fenêtre F′ et en regardant dans la campagne par une fenêtre F″, tandis qu'on voit le but *a* dans les miroirs par la face ouverte *c*D : cette dernière façon d'opérer est moins commode.

Appréciations.— C'est le télémètre le plus facile à manier que nous connaissions, un soldat d'une intelligence ordinaire peut en tirer un parti convenable (si, bien entendu, les conditions sont favorables pour opérer), nous en avons fait maintes fois l'expérience. C'est, de tous les télémètres que nous décrivons dans nos leçons, celui qui donne les meilleurs résultats dans les essais pratiques des élèves de l'Ecole militaire; mais il convient d'ajouter que chaque élève ne fait qu'une ou deux opérations avec chaque instrument.

Les trois spécimens du musée de topographie de l'Ecole militaire ont été payés 25 francs pièce; nous avons lu dans une revue que l'instrument ne coûte que dix francs, mais nous ne pouvons le croire.

Le télémètre Roksandic est *relativement* très lourd et

incommode à transporter (1). (Il est renfermé dans une gaine munie d'une courroie, on le porte en bandouillière.) Ses miroirs métalliques ne sont pas assez protégés contre l'humidité et le réglage de l'instrument ne nous parait pas présenter des garanties suffisantes, il est vrai qu'on peut le corriger mais c'est là une opération qui ne peut être faite par le premier venu.

Prisme-télémètre Souchier.

Adopté en 1892 par la Russie, qui en a doté ses commandants de compagnies et d'escadrons.

Principe. — Le même que celui des télémètres précédents, sauf que le coëfficient constant est $\frac{1}{\sin \alpha}$ au lieu de $\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}$ et que D est l'hypothénuse du triangle.

$$D = B \times \frac{1}{\sin \alpha}$$

$$\alpha = 1^\circ 5', \text{d'où } \frac{1}{\sin \alpha} = 50.$$

$$D = 50 \times B.$$

Description et théorie. — L'instrument du capitaine d'infanterie français Souchier est formé d'un seul prisme pentagonal en verre, permettant de construire à volonté, sur le terrain, un angle de 90° ou un angle de 91°5'.

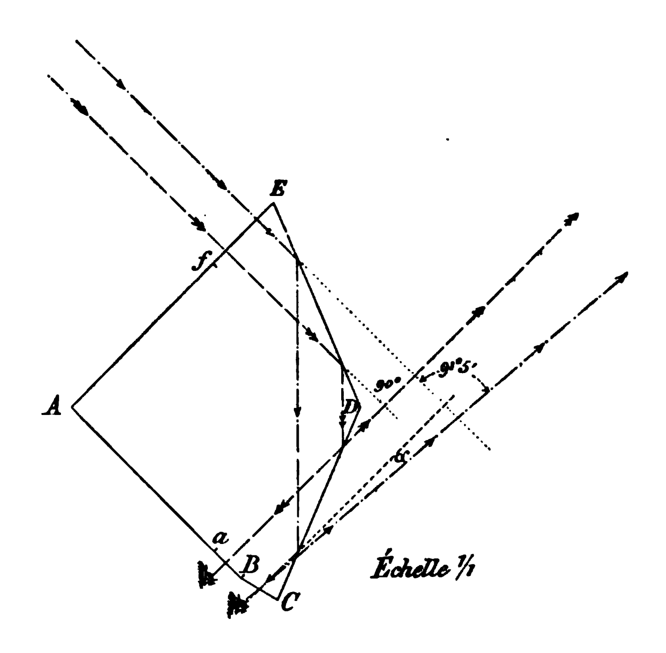
Le prisme a un centimètre de hauteur, ses deux bases sont parallèles et dépolies. Les angles du prisme sont respectivement A = 90°, B = 177°50', C = 69°40', D = 135°, E = 67°30'.

(1) Pour qu'un télémètre soit utile, il faut, selon nous, que l'officier l'ait toujours sur sa personne.

Le prisme est préservé des chocs par une enveloppe légère en ébonite, à l'exception d'une base qui est recouverte d'un transparent en celluloïde, à travers laquelle on voit la table.

La portion *f* E de la face A E est découverte.

Une petite portière mobile permet de couvrir et de découvrir *alternativement* soit la face BC, soit la portion *a* B de la face A B.



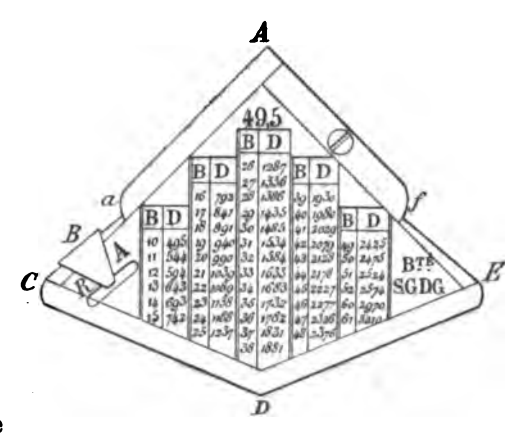
Un observateur peut donc voir dans le prisme, soit par BC, soit par *a* B, mais non par B C et par *a* B en même temps.

S'il place son œil en *a* B, un rayon lumineux, venant de sa gauche et pénétrant normalement dans le prisme par la partie *f* E découverte de la face A E, se réfléchit totalement sur ED, puis sur D C (jouant le rôle d'un couple de miroirs), sort du prisme normalement à *a* B : le rayon doublement réfléchi, fait avec le rayon incident un angle de 90°.

En effet, l'angle des deux surfaces réfléchissantes étant de 135°,

$$2 \times 135^\circ = 270^\circ, \text{ dont le supplément est } = 90^\circ.$$

Si l'opérateur place ensuite l'œil vis-à-vis de la face BC, après avoir fait glisser la portière qui la couvrait sur B *a*, un rayon lumineux, venant de sa gauche et traversant normalement *f* E, se comporte *dans le prisme* d'une façon identique à celle que nous avons observée pour le 1er rayon lumineux dont nous avons suivi la marche; seulement, à sa sortie du prisme, il traverse non plus *a* B, qui lui est perpendiculaire, mais BC, qui fait avec *a* B un angle de 2°10'; et il subit une déviation qui dépend de l'angle 2°10' et de l'indice de réfraction du verre qui est d'environ 3/2.



$$\alpha = 2^\circ 10' (3/2 - 1) = 1^\circ 5' \ (1).$$

(1) L'indice de réfraction du verre est $\frac{3}{2}$.

$$\frac{\sin \beta}{\sin \gamma} = \frac{3}{2}$$

Les angles étant très petits, on peut écrire

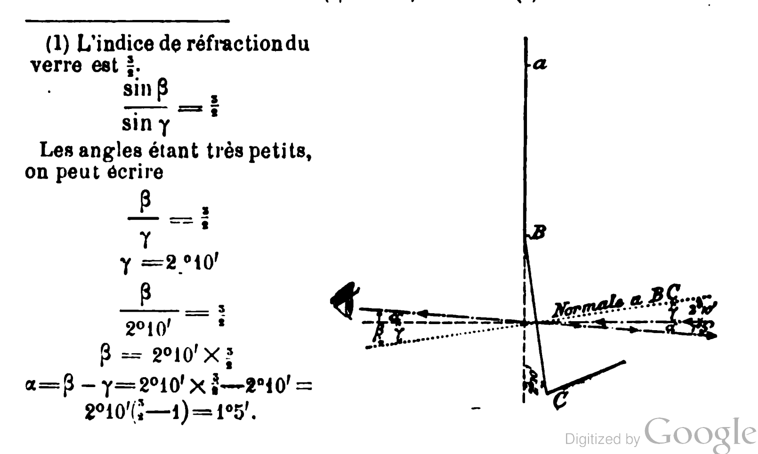
$$\frac{\beta}{\gamma} = \frac{3}{2}$$

$$\gamma = 2^\circ 10'$$

$$\frac{\beta}{2^\circ 10'} = \frac{3}{2}$$

$$\beta = 2^\circ 10' \times \frac{3}{2}$$

$$\alpha = \beta - \gamma = 2^\circ 10' \times \frac{3}{2} - 2^\circ 10' = 2^\circ 10' (\tfrac{3}{2} - 1) = 1^\circ 5'.$$



Le rayon incident fera donc avec le rayon doublement réfléchi et *réfracté* un angle de $90^{o} + 1^{o}5' = 91^{o}5'$.

L'indice de réfraction du verre n'est pas toujours rigoureusement 3/2 et le prisme n'est pas toujours mathématiquement taillé, de sorte que le coefficient constant n'est pas absolument 50 pour tous les prismes-télémètres : on le recherche expérimentalement pour chaque instrument et, pour faciliter les opérations sur le terrain, on forme une table que l'on applique sur une des bases du prisme. Cette table est protégée par un transparent en celluloïde, qui garantit en même temps le prisme. (Voir la figure et l'instrument.)

La table du spécimen de l'Ecole militaire est construite pour un coefficient 49.50; nous avons eu sous les yeux une autre table dont le coefficient est 52.

Mode d'emploi du prisme-télémètre Souchier. — On se sert de l'instrument de la même façon que des télémètres précédents.

Cependant, nous croyons intéressant, à divers points de vue, de reproduire textuellement la notice suivante, que nous avons reçue en faisant l'acquisition d'un prisme-télémètre Souchier pour le cabinet de topographie de l'Ecole militaire :

Notice.

« Pour le repérage des points importants du terrain dans l'organisation défensive d'une position, pour l'exécution des levers expédiés et des reconnaissances, pour le choix d'une première hausse au combat, l'emploi des télémètres présente des avantages sur lesquels il paraît superflu d'insister. Cependant, ce genre d'instruments est, sinon en discrédit, du moins en estime modérée auprès des officiers.

» Les raisons qui peuvent expliquer cette défaveur paraissent être les suivantes : les télémètres sont d'un maniement assez délicat et exigent, pour être employés, un opérateur assez exercé. Or, il existe un seul télémètre réglementaire par bataillon (1), et il paraît difficile que les officiers puissent s'intéresser au maniement d'un instrument

---

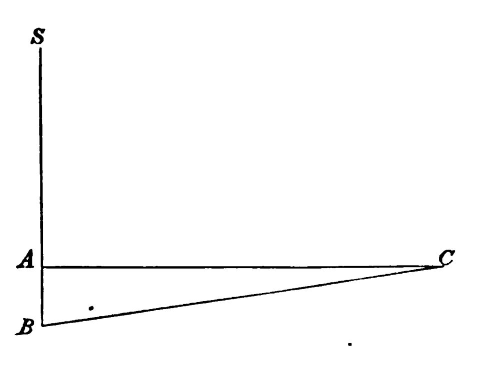
(1) Le télémètre Labbez, que nous avons décrit page 53.

qu'ils sont à peu près certains de ne pas avoir sur eux quand ils en auront besoin. D'autre part, les télémètres actuellement existants et possédant les qualites indispensables à tout instrument de mesure, précision, constance du réglage, facilité d'emploi, coûtent très cher : de 80 à 150 francs. Les officiers n'en font évidemment pas l'achat. Au-dessous de ce prix on a des instruments qui fonctionnent peut-être quand ils sortent de chez le constructeur, mais qui se dérèglent rapidement sous la simple influence des variations de température ou d'un choc qui fausse leurs organes.

» Ajoutons que dans les environs immédiats de certaines garnisons l'emploi des télémètres présente des difficultés particulières par suite des obstacles, clôtures, maisons, remblais, terrains cultivés qui s'opposent à la mesure des bases. Aussi, des officiers qui se sont servis avec succès d'un télémètre dans les Ecoles de tir sont tout surpris, en rentrant dans leurs garnisons, des difficultés que présente l'emploi du même instrument. Ils ont à leur disposition la carte des environs de la garnison, établie à une grande échelle, ils connaissent de mémoire la distance des principaux points du terrain; ils finissent par négliger le maniement de leur instrument et, quand une séance de réglage du tir se présente, ayant perdu toute confiance dans leur habileté, ils n'osent pas affronter devant leurs camarades déjà prévenus l'épreuve d'une mesure télémétrique.

» Il est essentiel de remarquer qu'à la guerre les conditions seront bien différentes. L'état des cultures ne sera pas une gêne et la plupart du temps c'est en rase campagne et non aux environs des villes que l'on devra opérer.

» Nous avons pensé qu'un progrès véritable à réaliser en ce qui concerne les mesures des distances consisterait à établir un instrument indérégable, très simple, peu coûteux, suffisamment précis, qui *vulgariserait* les procédés télémétriques.



» *Mode d'emploi.* — Le prisme-télémètre permet de déterminer sur le terrain une longueur, appelée *base*, qui est environ 50 fois plus petite que la distance que l'on veut connaître. La base est toujours perpendiculaire à la direction de l'objet dont on veut connaître la

distance. On peut la mesurer en s'avançant vers le signal ou en s'éloignant du signal, en tenant l'instrument avec l'une ou l'autre main. De là, plusieurs manières de mesurer une distance.

» *Opérer en tenant l'instrument avec la main gauche.*

1° Mesure de la base en s'éloignant du signal.

» L'opérateur placé en A, de manière à avoir à sa droite le but C, dont il veut mesurer la distance AC, saisit avec la main gauche l'instrument par ses deux bases parallèles, le pouce sur la face qui porte les lettres A et R, les trois premiers doigts sur l'autre face. S'il se propose de mesurer la base en *s'éloignant* du signal, il découvre, en faisant glisser le curseur, la moitié de la fenêtre qui correspond à la lettre R (reculez). Puis il porte le télémètre à hauteur de l'œil, les deux bases maintenues à peu près horizontalement, la fenêtre qui est munie d'un curseur tournée vers l'œil, la face qui porte l'autre fenêtre dirigée perpendiculairement à la direction du but, les doigts arrondis au-dessus de l'instrument, de manière à ménager un vide qui permette d'apercevoir entre le dessous des doigts et le dessus de l'instrument les objets situés en avant. Il cherche, en regardant dans la demi-fenêtre R, à voir par réflexion les images des objets situés à sa droite et s'attache d'abord à maintenir l'appareil de telle sorte que les objets vus dans le prisme lui apparaissent sous leur aplomb naturel, et qu'il ne voie pas des images irisées. Cela fait, si l'objet dont il veut mesurer la distance n'est pas dans le champ de l'instrument, l'opérateur, sans changer la position relative de l'œil et du prisme, tourne lentement sur lui-même de droite à gauche ou de gauche à droite, de façon à faire défiler dans l'instrument les différentes parties de l'horizon situées à sa droite jusqu'à ce que l'image du but soit dans le champ.



» L'opérateur recherche alors directement dans la campagne, en visant entre sa main et la face supérieure de l'instrument, un point *s* (pignon, clocher, arbre, etc.), pouvant lui servir de repère et situé exactement dans la direction de l'image du but qu'il amène par un petit mouvement de la main sur le bord supérieur de la fenêtre.

» S'il ne se trouve aucun objet dans la direction exacte de l'image, l'opérateur se déplace de droite à gauche, d'avant en arrière ou réciproquement de façon à amener l'image du but en coïncidence avec un objet du terrain pouvant constituer un signal ou repère. Le point où il se trouve alors est la première station. Cela fait, l'opérateur laisse

un objet (képi, pierre, canne, jalon) à la première station A. Il découvre par un glissement du curseur la moitié de la fenêtre qui correspond à la lettre A et se porte en arrière *exactement* dans l'alignement de la première station et du signal jusqu'à ce qu'il arrive en un point B, tel que l'image du but qu'il aperçoit dans la portion nouvellement découverte de la fenêtre lui apparaisse en coïncidence exacte avec le signal. C'est la 2e station. Il mesure ensuite au pas ou par tout autre moyen la base, c'est-à-dire la longueur A B comprise entre les deux stations, et il lit sur la graduation métrique de l'instrument la distance cherchée (colonne D) en regard du nombre (colonne B) représentant la longueur en mètres de la base qu'il a mesurée.

» 2° *Mesure de la base en avançant vers le signal.* — Si l'opérateur se propose de mesurer la base en avançant vers le signal, il découvre, avant toute opération, à l'aide du curseur, la portion de la fenêtre qui correspond à la lettre A (*avancez*) puis il opère comme précédemment, pour trouver un objet pouvant servir de signal. Cet objet trouvé, il découvre l'autre portion de la fenêtre et s'avance exactement dans la direction du signal, en prenant des points à terre, jusqu'à ce que la nouvelle image du but vienne en coïncidence avec le signal. Il mesure la base au pas tout en avançant; il en déduit la distance comme précédemment.

» *Opérer en tenant l'instrument avec la main droite.* — Si dans l'une des deux opérations précédentes la recherche d'un signal, par suite de la nature du terrain qu'on a devant soi, est trop difficile ou impossible, faire demi-tour de façon à avoir le but à sa gauche, saisir l'instrument avec la main droite, la face qui porte le curseur tournée vers l'œil, la face qui porte l'autre fenêtre tournée normalement au but et opérer comme dans les deux cas précédents, suivant qu'on veut marcher en avant ou reculer pour mesurer la base.

» *Observations.* — La mesure de la base en s'éloignant du signal facilite considérablement l'alignement exact de l'opérateur sur la direction du signal et de la première station. Elle permet en général d'opérer avec une grande précision. La mesure de la base en avant favorise la rapidité des opérations, elle dispense l'opérateur de revenir à la première station et par conséquent d'y laisser un objet : c'est la méthode qu'on peut employer quand le signal est suffisamment éloigné, à plus de 500 mètres par exemple.

» Si l'opérateur dispose d'un aide et que la recherche du signal soit difficile, il évitera cette recherche en envoyant cet aide à 200 mètres environ en avant. Il le dirigera à peu près sur la direction de l'image du but vue par réflexion et l'arrêtera quand il sera arrivé à bonne distance. L'opérateur établira ensuite la coïncidence de l'image et d'une partie distincte de l'habillement de l'aide en se déplaçant légèrement lui-même. A la guerre, où il importe d'opérer vite et à coup sûr, il ne faut pas hésiter à se servir d'un aide comme signal.

» La précision du résultat est d'autant plus grande que le signal est plus éloigné de l'opérateur, qu'il est mieux défini et que l'opérateur est mieux aligné sur la direction du signal et de la première station. Plus le signal est rapproché, plus l'opérateur doit prendre de précautions pour aligner exactement la base sur le signal.

» Quand la base a une longueur qui n'est pas comprise dans les limites des nombres inscrits dans les colonnes B, la graduation peut encore être utilisée pour le calcul de la distance. Par exemple, si dans une opération la base mesurée a été 8 mètres, on cherche dans une des colonnes B le nombre 16, double de 8; en regard de ce nombre, on lit, dans la colonne D, un nombre dont la moitié est la distance cherchée. De même, si la base mesurée est de 80ms, par exemple, la distance est égale au double du nombre de la colonne D qui est en regard du chiffre 40, lu dans la colonne B. Enfin, si la longueur de la base est de 20ms50 la distance est intermédiaire entre celles qui correspondent à une base de 20 mètres et à une base de 21 mètres.

» L'instrument est muni d'une seconde échelle destinée à faire connaître la distance quand on connaît le nombre de *pas* contenus dans la base. Chaque détenteur d'instrument complète lui-même, à l'encre de chine, les colonnes « Distance » de cette échelle suivant la longueur de son pas. A cet effet, il démonte et remonte l'instrument à l'aide des trois vis de la boîte.

» Les mesures se font avec une erreur moyenne inférieure à 30 mètres par kilomètre. »

Appréciations. — (Extrait d'un article de la *Revue d'artillerie*, tome 41, janvier 1893.)

« A la suite d'expériences comparatives exécutées à l'Ecole de tir d'infanterie de Saint-Petersbourg, avec un grand nombre de télémètres de divers modèles, le Ministre de la Guerre de Russie a prescrit, par ordre du 5 août 1892, l'adoption du télémètre imaginé par le capitaine d'infanterie français Souchier, attaché à l'Ecole normale de tir de *Châlons*.

» Aux termes de l'ordre ministériel, chaque commandant de compagnie ou d'escadron sera pourvu, aux frais de l'Etat, d'un appareil de ce système.

. . . .

» L'Ecole normale de *Châlons*, qui a expérimenté le télémètre Souchier, a émis sur cet instrument les appréciations suivantes que nous trouvons reproduites dans l'ouvrage « *Les télémètres d'infanterie des modèles les plus récents expé-*

rimentés à l'école de tir des officiers » du capitaine russe EROGUINE, *Saint-Pétersbourg 1892*.

» Le télémètre SOUCHIER présente le gros avantage d'être indéréglable, car il est essentiellement constitué par les faces d'un prisme de verre.

» A moins qu'on ne le casse, il n'est pas susceptible de détérioration, puisqu'aucune des faces n'est recouverte de tain, dont l'éclat diminue toujours avec le temps.

» L'utilisation du principe physique de la réflexion totale pourl'obtentio n des images a permis d'obtenir une clarté de vision qui n'existe dans aucun télémètre de poche.

» Son volume est très restreint et son poids est très faible (1). Ce sont là des avantages réels, car l'emploi du télémètre en campagne est subordonné à des circonstances imprévues qui obligeront l'officier à être constamment porteur de son instrument, s'il ne veut pas en être dépourvu au moment opportun.

» Sa précision, qui a fait l'objet d'expériences nombreuses, a été reconnue équivalente à celle des meilleurs télémètres existants. Les mesures se font avec une erreur probable qui n'est en moyenne que de 25 mètres par kilomètre.

» Sa portée s'étend jusqu'aux limites de la vue. Son maniement est simple. Son prix est relativement peu élevé (2).

» Toutes ces qualités font du prisme du capitaine SOUCHIER le télémètre de poche *le plus pratique de tous ceux qui ont été construits jusqu'à ce jour*. »

La commission d'expériences qui a fonctionné à l'Ecole de tir russe a reconnu tous ces avantages et est arrivée à des conclusions analogues.

En ce qui concerne la précision, elle a constaté qu'aux distances voisines de 2 000 pas (3), (1 420 mètres), la base étant mesurée au cordeau avec une erreur moyenne de 2,30 pour

(1) Environ 35 grammes.

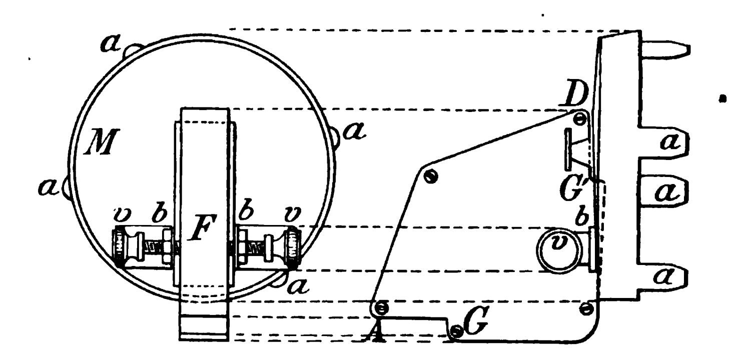
(2) 16 fr. 50. (Nous avons payé le spécimen du cabinet de topographie de l'Ecole militaire 25 fr. chez Morin à Paris.)

(3) Le pas russe est de $0^{m}71$.

100 (1), on obtenait la distance avec une erreur inférieure à 4 pour 100.

Elle a trouvé que la durée moyenne de l'opération était de 1 minute.

Toutefois, elle a fait observer qu'aux distances supérieures à 1 500 pas (1 065 mètres), l'image du but perd de sa netteté et que, pour la mettre exactement en coïncidence avec le signal, il est nécessaire d'avoir une vue excellente. L'expérience a démontré que, s'il est facile de trouver dans une compagnie des hommes (âgés de 21 à 24 ans) capables de mesurer des distances voisines de la portée extrême du fusil, c'est-à-dire d'environ 3 000 pas (2 130 mètres), il n'en est pas de même des officiers. Sur quatre officiers faisant partie de la commission, trois n'ont pu mesurer les grandes distances ; les officiers détachés comme élèves à l'Ecole de tir se sont trouvés dans le même cas. C'est pour obvier à cet inconvénient que le capitaine russe Eroguine a complété le télémètre par un dispositif de son invention, permettant d'adapter l'instrument à la jumelle de campagne réglementaire.



Ce dispositif consiste en un couvercle M muni de quatre oreilles *a*, dont on coiffe un des objectifs de la jumelle et que l'élasticité des oreilles maintient en place.

(1) La mesure de la base au pas conduit, d'après l'Ecole normale de Chalon, à une erreur moyenne de 3 pour 100.

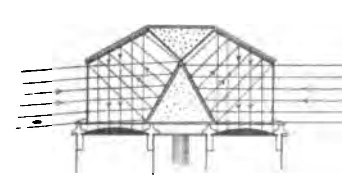
Dans le fond du couvercle est percé une fente horizontale F dans laquelle s'encastre le telémètre, soit par le côté G D, soit par le côté A G.

Deux équerres *b*, faisant corps avec le couvercle, portent chacune une vis *v* servant à maintenir le télémètre dans son encastrement. La fente F a une largeur plus grande que l'épaisseur du télémètre d'environ 2mm5 ; le jour qui en résulte permet de viser le but par-dessus le télémètre : en serrant l'une des vis, et en desserrant l'autre, on produit le jour sur l'une ou l'autre des bases de l'appareil, suivant la direction dans laquelle on prend le signal.

Le dispositif pèse 25 grammes et coûte 4 francs.

Il résulte des expériences faites à l'Ecole de tir, que le télémètre ainsi adapté à la jumelle permet de mesurer des distances de 5 à 8 kilomètres, et peut, par suite, être employé par l'artillerie. Aux distances de 2 000 à 3 000 pas (1 420 à 2 130 mètres), il donne une précision deux fois plus grande que lorsqu'il est employé isolément. La durée d'une mesure n'est guère plus longue qu'avec le télémètre seul.

Il est facile de placer le télémètre Stroobants sur des jumelles de campagne, au moyen d'un dispositif analogue à celui du capitaine Eroguine, et il est à remarquer que l'emploi de ce dispositif est plus avantageux pour cet instrument que pour le télémètre Souchier, dont les faces utilisées sont plus petites, et avec lequel une partie des rayons lumineux se perdent quand on emploie la face B C, les rayons n'étant pas, dans ce cas, parallèles à l'axe optique de la lunette.



De Militaire Spectator, dans l'étude que nous avons signalée page 69, propose de modifier, comme l'indique la figure ci-contre, la disposition des prismes du télémètre Stroobants, pour l'adapter plus facilement sur des jumelles : cette modification ne rendrait pas l'instrument moins facile à manier lorsqu'on ne fait pas usage de jumelles.

FIN

ERRATA & COMPLÉMENTS

1re Partie.

Page 5 ligne 12, effacez la virgule après état-major.
10 27, écrivez 2.05 au lieu de 2.55.
11 3, id.
11 4, Liége.
18 2 du renvoi, supprimez *géodésique et*
33 5, fermez les guillemets.
35 14. Nous n'avons pas été bien renseignés : le travail sur le terrain n'est pas terminé.
» 31, voir 4e partie.
38 16, effacez : comme en Belgique.
» 17, du 40,000e au lieu de : du 20.000e.
39 16, ajoutez : *en noir*, après 50.000e.
» 17, ajoutez : Cartes chromolithographiques au 25.000e et au 50.000e.
48 6, lisez 12000.
66 renvoi 2, page 101.
75 22, canevas *de* nivellement.
76 34, ajoutez un renvoi. Depuis le raccordement de nos nivellements à ceux des pays voisins, *dont il est ici question*, de grands travaux relatifs aux nivellements généraux ont été exécutés en Allemagne, en Belgique, en France et en Hollande : le cadre de notre cours ne nous permet pas d'effleurer ce sujet.
76 dernière, deux points après relief.
79 19, virgule après ramifient.
115 8, du relief.
126 17, du.
» 20, du.
» 22, du 20.000e.
131 15, conventionnels *principaux*.
132 17, ajoutez, après 50 000e, *en noir*.
ajoutez à la suite de l'alinéa :

Cartes chromolithographiques : Scheveningen, 'S Gravenhage et Grubbenvorst au 25.000e; Amsterdam et Venlo au 50.000e; ces cartes sont fort belles, le relief est exprimé au moyen de trachures. Les cartes chromolithographiques ne sont pas encore dans le commerce.

2e Partie.

Page 19 ligne 15, voir les ***Tables de réduction*** de l'Ecole militaire.
28 — marquez le centre du rapporteur.
44 31, chaîne; on vérifie ensuite tous les mètres et tous les doubles-décimètres.
64 10, réduire.
66 21, soient 100 pour les fils *s* et *s'*, et 200.
73 28, Nous avons copié exactement la notice frappée sur les règles-éclimètre de Goulier dont on s'est servi à l'Ecole militaire : nous croyons qu'il y a erreur de la part du constructeur et qu'il faut lire : « L'erreur à craindre est égale à un mètre ***multiplié*** par ***d exposant*** 2. »
90 1, effacez T Z.
115 21, ***l'axe*** de la fente.
117 — Le graphomètre devrait être muni d'un niveau sphérique et les divisions du limbe devraient être continuées un peu delà de son diamètre, aussi bien du côté du zéro que du côté 180.
132 — La figure a été mal copiée pour la gravure : le petit cercle devrait avoir, pour centre, le centre du limbe, l'axe de l'aiguille ne devrait donc pas être un diamètre.
168 — Ajoutez à la suite de la dernière ligne : Voyez un extrait de cette *Notice*, page 217.
242 — Le dessin, qu'il a fallu réduire au format du livre, n'est pas ***parfait*** : si l'on vérifie les résultats qu'il donne par le calcul, on trouvera des erreurs plus fortes que celles que l'on constaterait sur l'original, dont l'échelle est beaucoup plus grande et la gravure plus fine.
273 35, centimètres de côtés;
280 12, que l'on ***a en*** vue.

3e Partie.

Page 60. Ajoutez ***v*** au sommet de l'angle de 45° de la figure et remplacez ***a*** par ***q*** sur la face ***p a***.
62. Ajoutez ***v*** au sommet de l'angle de 45°22' de la figure.
63. Ajoutez ***s***, dans la figure, à l'extrémité du rayon ***d c***, comme dans la figure de la page 62.



TABLE DES MATIÈRES

TROISIÈME PARTIE

Reproduction des cartes (Cartographie).

QUATRIÈME PARTIE

Reconnaissances topographiques.

CINQUIÈME PARTIE

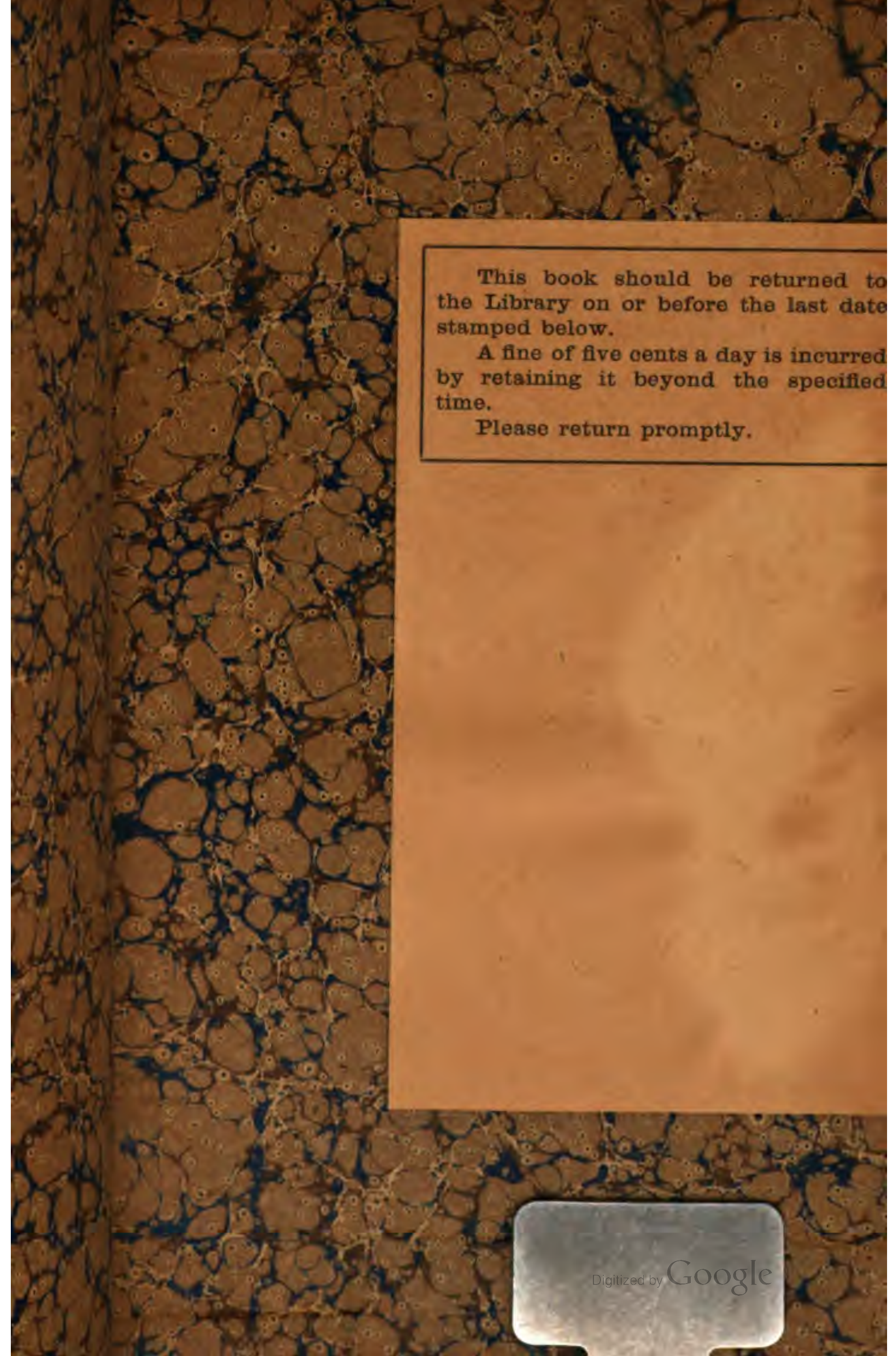
Télémétrie.

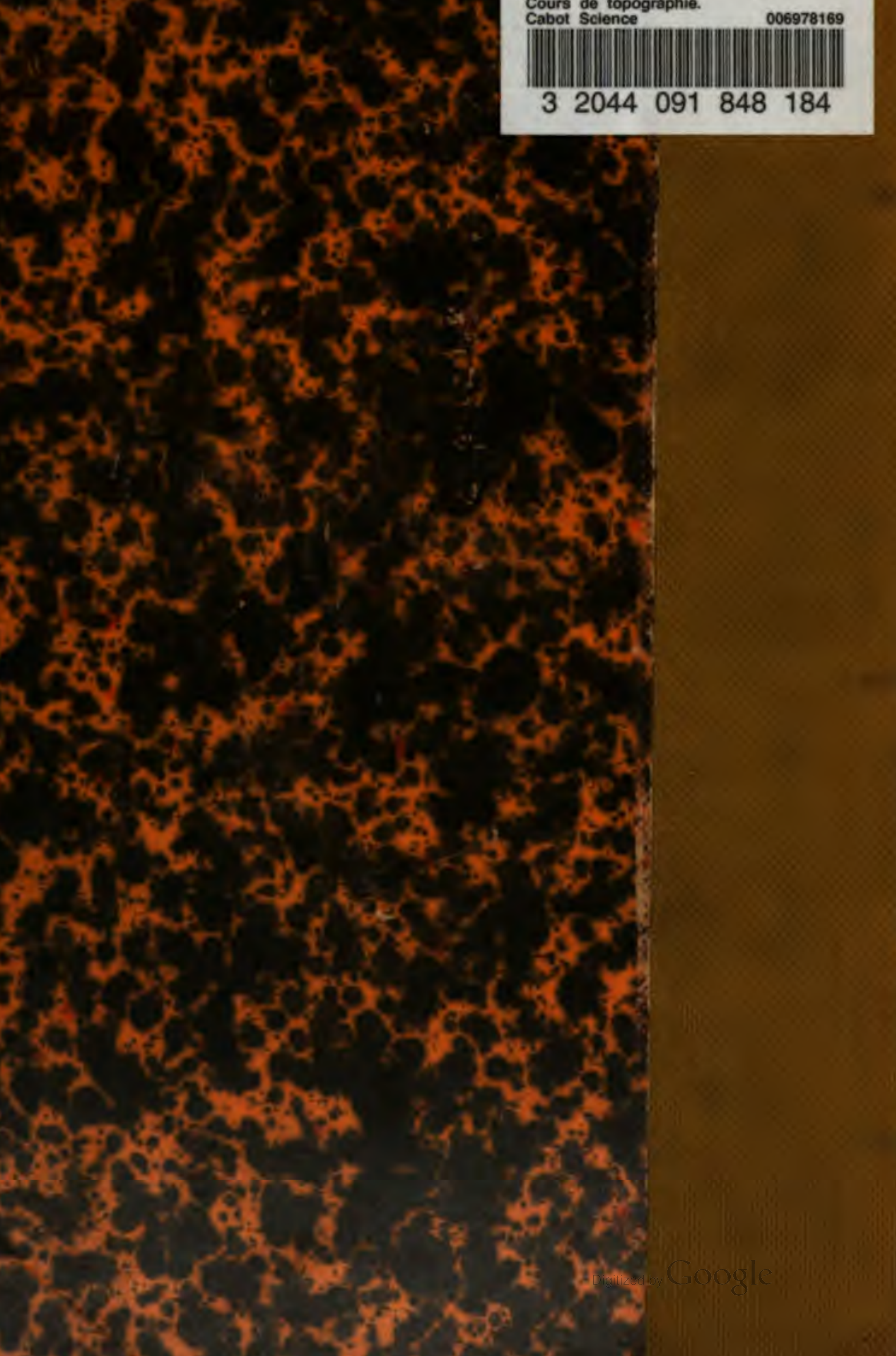
Les deux premières parties sont en vente

chez M. Wesmael-Charlier, éditeur, 53, rue de Fer, à Namur.

1re Partie :	*Construction et lecture des cartes,*	fr.	**2.00**
2e »	*Instruments et opérations,*	»	**4.00**




This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.
A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.
Please return promptly.
Digitized by Google


Cours de topographie.
Cabot Science
006978169
3 2044 091 848 184
Digitized by Google